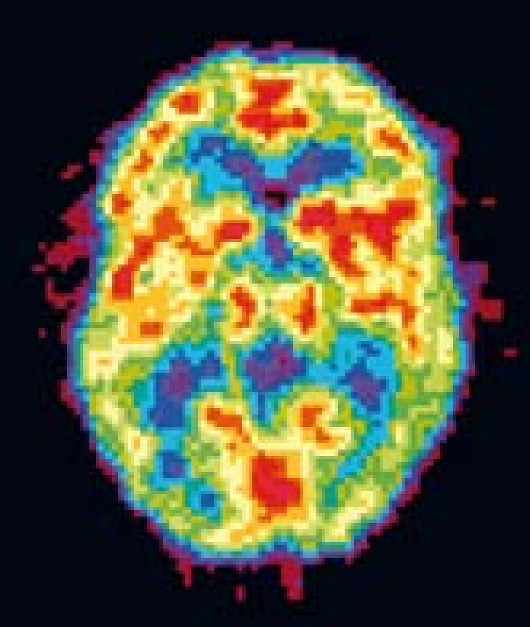
50 идей,

о которых нужно знать

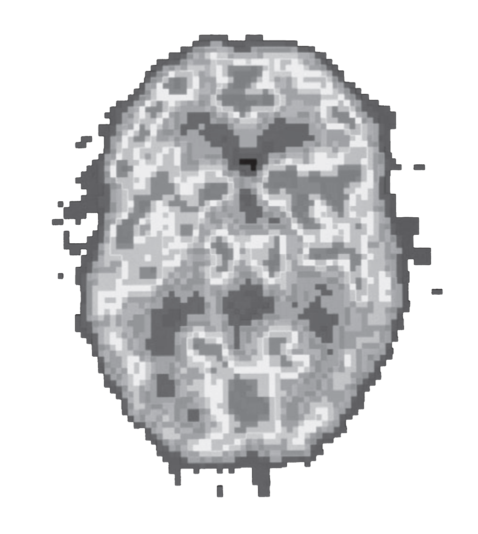
МОЗГ ЧЕЛОВЕКА



Мохеб Костанди

Мохеб Костанди

МОЗГ ЧЕЛОВЕКА



50 ИДЕЙ,
о которых нужно знать

Оглавление

Введение

Современная нейробиология восходит к 1890-м годам: тогда ученые впервые установили, что нервная система, как и вообще все живое, состоит из клеток. Прошло сто лет, президент Джордж У. Буш объявил 1990-е «Десятилетием мозга», и с тех пор исследования этого чрезвычайно сложного органа набрали потрясающие обороты. Говорят, за последние десять лет мы узнали о мозге больше, чем за предыдущие сто. Тем не менее мы по-прежнему возимся на поверхности, и громадную часть знаний еще предстоит добыть.

За эти недолгие годы возникло множество теорий работы мозга и того, как он порождает наши мысли и поступки. Например, френология, дисциплина XIX века, пытавшаяся соотнести черты личности с формой головы, имела в свое время большое влияние, но позднее от нее отказались как от псевдонауки. Другие ранние представления – к примеру, нейронная доктрина, то есть представление о мозге как о совокупности клеток – по-прежнему занимают центральное место в современной нейробиологии.

С развитием техники и нашего понимания мозга возрос и интерес широкой публики к наукам о мозге, к поразительным новым открытиям и их значению для людей. В то же время исследования мозга окружает немалая шумиха, и, уж конечно, они плодят уйму неподтвержденных сведений. Кроме того, множатся мифы о мозге. Один из самых расхожих примеров – представление о том, что левое полушарие у человека «логическое», а правое «творческое». Это представление, похоже, имеет все более широкое хождение, особенно в образовательной и деловой среде.

Эта книга – попытка извлечь квинтэссенцию из столетних размышлений о мозге. Она объединяет значимые представления нейробиологии, в свете последних данных приводит старые концепции к современному виду, а также предлагает новые, возникшие совсем недавно. Она пытается дать достоверные объяснения представленным идеям в доступной форме, отделить зерна от плевел и пролить свет на загадочное вещество у нас в головах. Там, где возможно, я объясняю, как именно были добыты те или иные данные – какие методики применены и как исследователи уточняют свои представления по мере поступления новых сведений.

Некоторые верят, что понимание работы мозга даст нам ответы на главные вопросы жизни. Нет, не даст: исследование мозга не объяснит нам досконально ни кто мы есть, ни что это значит – быть человеком. А вот возможность лечить многочисленные тяжелые расстройства, коим мы подвержены, – вредные привычки, болезнь Альцгеймера, инсульты и параличи, например, – такое понимание предлагает. «Мозг человека» рассматривает – с осторожным оптимизмом – и эти надежды.

01 Нервная система

Нервная система человека состоит из двух ключевых компонентов. Первый, центральная нервная система, включает в себя головной и спинной мозг; они принимают информацию от остального тела и обеспечивают единство его действий. Второй — периферическая нервная система, она обеспечивает доставку информации от тела к мозгу и наоборот.

Человеческий мозг состоит из миллиардов клеток, организованных в систему высочайшей упорядоченности, — ее нередко считают самой сложной структурой в известной нам Вселенной, однако весит наш мозг всего 1,5 кг. Он состоит из двух полушарий, и каждое управляет зеркально противоположной половиной тела и получает от нее информацию. Кора головного мозга, покрывающая полушария, имеет четыре доли с разными функциями, и отделяются они друг от друга глубокими бороздами.

Лобная доля осуществляет сложные мыслительные функции — логические рассуждения, принятие решений, а также содержит моторные области, отвечающие за планирование и выполнение осознанных движений.

Теменная доля содержит соматосенсорные области — они заняты обработкой осязательной информации, поступающей от тела. Здесь же собираются разнообразные данные о положении тела в пространстве.

Височная доля принимает информацию от ушей, а в ее внешней поверхности находятся области, занятые распознаванием речи. На внутренней поверхности расположен гиппокамп, необходимый для формирования памяти; вместе с прилегающими участками он также играет важную роль в пространственном ориентировании.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1700 до н. э.

Так называемый папирус Эдвина Смита — первое описание нервной системы

900

Ар-Рази описывает черепно-мозговые нервы в медицинском трактате «Китаб аль-Хави фи аль тибб» («Аль-хави»)

1543

Издан трактат Андреаса Везалия «О строении человеческого тела»

Слои сложности

Кора — чрезвычайно затейливая складчатая ткань, рельефно облегающая внешнюю поверхность мозга. Кора головного мозга человека имеет гораздо большую площадь, чем у других животных: в расправленном виде — около 0,2 кв. м. Ее складчатость придает мозгу привычный нам вид — со множеством извилин и борозд. В толщину кора всего несколько миллиметров, однако состоит из шести слоев, и в каждом клетки организованы на свой манер. Несмотря на одинаковое устройство каждого слоя, кора содержит множество отдельных участков со своими особыми функциями.

Затылочная доля расположена в задней части мозга, и там находятся десятки областей, занятых обработкой и интерпретацией зрительных данных.

Мозг обнаженный Под корой залегают несколько крупных пучков нейронов. Таламус (или «внутренняя камера») находится в самой середине и передает информацию от органов чувств соответствующим областям мозга. Таламус окружают базальные ганглии – совокупность структур, занятых преимущественно управлением движениями тела. Лимбическая система – еще одна общность подкорковых структур, расположенных между базальными ганглиями и корой. Иногда называемая «рептильным мозгом», лимбическая система эволюционно примитивнее и обслуживает эмоции, поощрение и мотивацию. В нее входят гиппокамп и амигдала (миндалевидное тело) – оба участвуют в работе памяти.

Средний мозг – небольшая область, располагающаяся на вершине мозгового ствола. Здесь спрятаны пучки нейронов, контролирующих движения глаз, и он является главным источником нейромедиатора дофамина. Нейроны, вырабатывающие дофамин, также производят пигмент мелатонин, из-за чего средний мозг имеет темную окраску. Оттого эта часть среднего мозга называется «черным веществом».

Задний мозг заключает в себе три структуры, находящиеся сразу над спинным мозгом и вместе образующие мозговой ствол. Нижняя часть мозгового ствола (продолговатый мозг) контролирует жизненно важные непроизвольные функции – дыхание и сердцебиение, а также

1641
Франциск Сильвий описывает борозду в боковой части мозга

1664
Томас Уиллис (Фома Виллизий) публикует *«Cerebri anatome, cui accessit nervorum descriptio et usus»* («Анатомия головного мозга с добавлением к ней описания и функции нервов»).

1695
Издана «Анатомия мозга» Хамфри Ридли

задействована в процессах возбуждения. Над продолговатым мозгом размещается варолиев мост, соединяющий кору головного мозга со спинным, — он тоже имеет отношение к возбуждению. Третий компонент заднего мозга — мозжечок, он отвечает за равновесие и координацию движений. Он играет важнейшую роль в приобретении двигательных навыков вроде езды на велосипеде, но также занят и в переживании эмоций, и в мыслительных процессах.

Воистину час пик Спинной мозг — главная магистраль транспортной системы организма, пучок колоссальной плотности, состоящий из миллионов нервных волокон, передающих информацию между телом и мозгом. Эта неимоверно хрупкая структура, защищенная позвоночным столбом, умеет делать кое-что сама, без команды из мозга, — например, осуществлять коленный рефлекс. Спинной мозг сегментирован, нервы входят и выходят из него через определенные интервалы, очень упорядоченно. В поперечном сечении он напоминает бабочку.

‘Человеческий мозг... сложнейшая известная нам организация материи’

Айзек Азимов (1920–1992), американский писатель-фантаст, популяризатор науки

Волокна двигательных нейронов выходят из передней части спинного мозга наружу и простираются к мышцам тела, донося к ним из головного мозга информацию о произвольных движениях. Аксоны чувствительных (сенсорных) нейронов несут информацию от тела к задней стороне спинного мозга и образуют связи с нейронами второго порядка, а те передают информацию в мозг. Переплетение аксонов двигательных и чувствительных нейронов создает периферическую нервную систему.

Гонцы Периферическая нервная система объединяет все нервы, выходящие из головного и спинного мозга, и состоит из двух компонентов. Первый, соматическая нервная система, объединяет чувствительные и двигательные нервные волокна, передающие информацию между телом и спинным мозгом. Эти нервные волокна обеспечивают телесные ощущения и управление движениями.

Второй компонент — автономная, или вегетативная, нервная система, она контролирует работу сердца, желез и гладких мышц кровеносных сосудов и кишечника, а также глазных — все эти мышцы не подчиняются контролю.

Автономную нервную систему можно разделить на симпатическую и парасимпатическую — это две противоположные функции. В симпатической нервной системе задействован нейромедиатор норадреналин — он усиливает сердцебиение, расширяет зрачки и дыхательные каналы, отводит кровь от пищеварительной системы. Так тело готовится к действию в ситуациях «бей или беги». Парасимпатическая нервная система

задействует нейромедиатор ацетилхолин – от него зрачки и дыхательные каналы сужаются, сердечный ритм замедляется, а пищеварительная функция активизируется.

Нервы, расположенные в черепной коробке, тоже часть периферической нервной системы. Эти нервные волокна выходят из мозгового ствола и передают информацию мозгу от органов чувств. Блуждающий, или десятый черепно-мозговой, нерв – самый длинный из них и ветвится аж до сердца, грудины и брюшной полости.

«Ум — таинственная форма материи, производимая мозгом»

Эмброуз Бирс (1842–1913/14), американский писатель, журналист

В сухом остатке
Нервная система чрезвычайно сложна и высокоорганизованна

02 Нейронная доктрина

Современная нейробиология основывается преимущественно на представлении о мозге как об общности клеток. Мозг человека содержит поражающее воображение количество нейронов — от 80 до 120 миллиардов, они образуют прихотливо переплетенные системы, в которых обрабатывается информация. Нейроны (нервные клетки), одна из двух разновидностей клеток мозга, производят электрические сигналы и взаимодействуют друг с другом.

В 1830-х годах двое немецких ученых предложили теорию, утверждавшую, что все живые существа состоят из клеток. В те времена микроскопам не хватало мощности, чтобы выявить структуру нервной системы достаточно подробно, и потому оставалось неясным, применима ли клеточная теория к нервной ткани; эта тема еще долго вызывала споры. Некоторые исследователи полагали, что нервная система, как и остальные части тела, должна состоять из клеток, а другие считали, что это непрерывная сеть ткани.

Совершенствование микроскопов и методов химических цветовых реакций позволило ученым рассматривать нервную ткань все подробнее. Значительным прорывом стала так называемая «черная реакция», предложенная Камилло Гольджи, — метод окрашивания и отвердения ткани при помощи растворов бихромата калия и аммония с последующим погружением ее в раствор нитрата серебра. «Черная реакция» целиком окрашивает случайное небольшое число нейронов в образце ткани, делая их очертания полностью видимыми.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1655
Роберт Хук (Гук) обнаруживает клетки в живой материи

1838
Роберт Ремак выдвигает предположение, что нервные волокна подсоединены к нервным клеткам

1839
Теодор Шванн и Маттиас Шлейден формулируют клеточную теорию

1865
Посмертная публикация описания аксонов и дендритов Отто Дейтерса

В 1880-х годах испанский нейроанатом Сантьяго Рамон-и-Кахаль начал использовать метод окрашивания при сравнительном изучении тканей многих участков мозга у различных видов животных. Кахаль усовершенствовал методику Гольджи повторной обработкой растворами. Теперь можно было окрашивать нейроны глубже и изучать их еще подробнее.

«Я — как энтомолог, охотящийся за яркими разноцветными бабочками: мое внимание притягивал цветник серого вещества, содержащего клетки хрупкой, изящной формы — загадочные бабочки души»

Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1852–1934), испанский врач, гистолог

Кахаль заключил, что мозг, несомненно, состоит из клеток, а на конференции 1889 года в этом убедились и все остальные, и так родилась нейронная доктрина — представление о нейроне как о базовой структурной и функциональной единице нервной системы. В 1906 году Кахаль и Гольджи получили за свой вклад в науку Нобелевскую премию по физиологии. Несмотря на то что изобретенный им метод привел к открытию нейрона, Гольджи, как ни парадоксально, и дальше придерживался представления о нервной системе как о непрерывной сети ткани. Кахаль же, с другой стороны, общепринято считается отцом современной нейробиологии.

Вестники тела Человеческий мозг содержит нейроны не менее нескольких сотен, а то и тысяч разновидностей, всевозможных форм и размеров, но их все — в соответствии с функциями — можно разделить на три типа. Чувствительные (сенсорные) передают информацию от органов чувств в мозг; двигательные (моторные) отправляют команды мышцам и органам; вставочные (ассоциативные) отвечают за сообщение между нейронами в локализованных нервных цепях и на бóльших расстояниях — между разными участками мозга.

Несмотря на это потрясающее разнообразие, основные свойства у большинства нейронов одинаковы. Традиционно устройство нейрона представляют трехчастным, у каждой части — свои функции.

Дендрит. Название происходит от греческого «дендрон» — дерево; это разветвленный отросток тела клетки. Дендрит — сегмент нейрона, отвечающий за «ввод данных»: он принимает и обрабатывает сигналы от других нейронов, после чего передает их клеточному телу.

1873
Камилло Гольджи открывает «черную реакцию»

1889
Сантьяго Рамон-и-Кахаль доказывает: нервная система состоит из клеток

2005
Ицхак Фрид и его коллеги обнаруживают «нейроны Дженнифер Энистон»

Клетки Дженнифер Энистон

Исследуя мозг страдающих эпилепсией, ученые обнаружили нейроны, реагирующие на образы знаменитостей вроде Дженнифер Энистон или Хэлли Берри или же на легендарные объекты — Эйфелеву башню или Белый дом. Эти клетки расположены в области мозга, содержащей структуры, необходимые для производства памяти. Далее те же исследователи установили, что эти клетки активизируются не только в тех случаях, когда пациент видит образы знаменитостей или объектов, но и когда просто о них думает. Эти открытия привели к предположению, что индивидуальные клетки отвечают за кодирование абстрактных понятий. Однако более вероятным видится такой вывод: каждая клетка есть часть распределенной системы, содержащей несколько миллионов нейронов, и эта система кодирует воспоминание о знаменитости или объекте. Отдельные клетки, вероятно, участвуют в миллионах других систем, и каждая система кодирует определенное воспоминание или понятие.

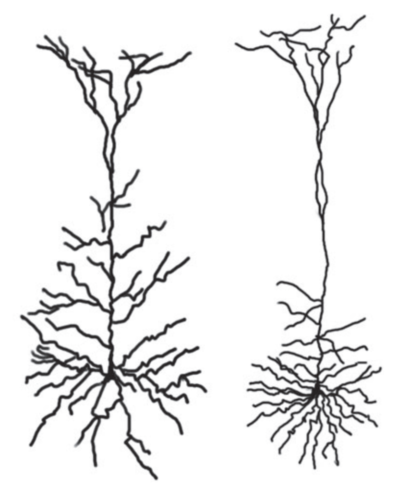
Клеточное тело. В этом отсеке происходит обработка сигналов, поступающих от дендрита, и производится исходящий сигнал. Здесь же расположено ядро клетки, а в нем – ДНК, длинная молекула, хранящая информацию для синтеза тысяч белков, контролирующих функции клетки. Каждый тип нейронов определяется уникальной комбинацией генов, придающих ему его особые свойства.

Аксон. Одиночный отросток на другом конце нейрона, проводник исходящего сигнала нейрона. Электрические сигналы генерируются в основании аксона и отводятся от клеточного тела, после чего передаются другим клеткам. Конец аксона образует ветвистые терминали, они и доносят сигнал до множества «целевых» клеток. Мы уже знаем, однако, что импульсы могут возникать в любой части нейрона и двигаться в обоих направлениях.

Вымуштрованная армия Большинство нейронов – около 80% – располагается в мозжечке. Клетки в его коре (внешней оболочке) устроены высокоупорядоченными слоями, подобно дисциплинированным солдатам в войсках особого назначения. Два типа клеток в этой части мозга наглядно показывают, насколько разнообразны бывают нейроны. Клетки Пуркинье – крупнейшие нейроны мозга. Они широкие, плоские и чрезвычайно разветвленные. Гранулярные же клетки, напротив, мельчайшие. У них одиночное волокно вблизи клеточного тела раздваивается

и ответвляется перпендикулярно дендритам клетки Пуркинье. Каждая клетка Пуркинье формирует связи примерно с 250 000 волокон гранулярных клеток.

Кора головного мозга тоже слоиста, и каждый слой — предельно упорядоченная общность нейронов. Пирамидальные клетки, расположенные во всех слоях, кроме самого верхнего, — один из основных видов клеток, они собраны в скопления определенного устройства, воспроизводимого на каждой тридцатитысячной доле миллиметра. Структура этих клеток в разных слоях и участках мозга разная, но у всех узнаваемая пирамидальная форма клеточного тела, сильно разветвленные дендриты и ветвистые аксоны, простирающиеся к клеткам в других слоях коры и удаленных областях мозга.



Пирамидальные нейроны из разных участков коры головного мозга

В сухом остатке
Нейроны — кирпичики нервной системы

03 Глиальные клетки

Помимо нейронов в мозге также содержатся и другие клетки, именуемые глиальными (клетками глии). Почти всю историю современных наук о мозге клетки глии считались незначимыми, обслуживающими. Ныне же известно, что они, играя важную сопровождающую роль, все же ключевой фактор в развитии мозга, его деятельности и болезней.

Более 150 лет глиальные клетки считали необходимыми лишь для удержания нейронов на своих местах, их защиты и питания. Современные исследования, однако, показали, что эти клетки очень значимы для способностей мозга к обработке информации.

Глиальных клеток в мозге больше, чем нейронов, но с тех пор как их открыли, ученые ими, в общем, пренебрегали. Теперь-то делается все яснее, что для развития нашего понимания работы мозга эти клетки принимать в расчет необходимо. Они не просто актеры второго плана: глиальные клетки играют важные роли на сцене работы мозга, а могут и вообще оказаться звездами этого спектакля.

Знакомство с глиальными клетками В мозге содержатся разные типы глиальных клеток, и у каждого — свои особые функции.

Астроциты имеют форму звездочки, размещаются в пространстве между нейронами. Снабжают питательными веществами и регулируют химический состав нейронов, а к тому же необходимы для обработки информации.

Эпендимальные клетки выстилают стенки желудочков мозга, производят и выделяют спинномозговую жидкость. У этих клеток имеются волоски-протуберанцы, именуемые ресничками, — они торчат внутрь

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1839
Теодор Шванн описывает структуру периферической нервной системы и наблюдает клетки, впоследствии названные его именем

1856
Рудольф Вирхов называет клетки глии *nervenkitt*, что означает «клей нервов»

1896
Георге Маринеску обнаруживает, что глия поглощает нейроны в процессе фагоцитоза

желудочков и колышутся, тем самым улучшая циркуляцию спинномозговой жидкости.

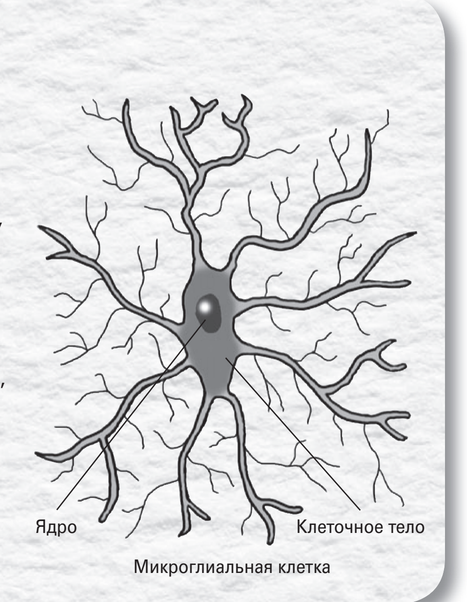
Микроглиальные клетки – отряд особого реагирования мозга, первая линия обороны от микробов, уборщики отходов за умирающими нейронами (*см. стр. 126–127*).

Олигодендроциты производят жировую ткань миелин – изолятор для аксонов. Благодаря ей нервные импульсы перемещаются вдоль аксонов с большей эффективностью. (Для периферической нервной системы эту функцию выполняют шванновские клетки.)

Радиальная глия наличествует только на ранних стадиях развития мозга (*см. след. стр.*). Клетки этого вида производят громадное количество нейронов мозга и направляют их к развивающейся коре.

Аварийная бригада мозга

Микроглия формируется костным мозгом, клетки микроглии — иммунная система мозга. Эти клетки постоянно патрулируют мозг, вытягивая и поджимая похожие на пальцы отростки, — проверяют, не возникло ли каких-нибудь признаков инфекции, повреждения или болезни. Обнаружив в мозге микробы, микроглиальные клетки ползут, подобно амебам, к чужакам и поглощают их; этот процесс называется фагоцитозом (букв. «поедание клетки»). Микроглиальная клетка в этом процессе обволакивает микроб своей клеточной мембраной, включает его в свое тело, после чего уничтожает. Микроглия задействована и в случаях поражений мозга: микроглиальные клетки принимают сигнал о химических неполадках, отправленный поврежденными и умирающими нейронами, и ползут к месту поражения. По прибытии они прибирают мертвые клетки и другие клеточные отходы.



Микроглиальная клетка

1920
Пио дель Рио-Ортега подразделяет глиальные клетки на четыре типа

1966
Стивен Куффлер с коллегами доказывает, что глия реагирует на сигналы от нейронов

1970
Паско Ракич описывает миграцию молодых нейронов вдоль волокон радиальных глиоцитов

Не просто клей В переводе с греческого «глия» означает «клей» – это название отражает давние представления о роли этих клеток. Однако исследования, обнародованные за последние десять лет, показывают, что глиальные клетки на самом деле жизненно важны во всех аспектах деятельности мозга.

Астроциты, к примеру, суть гораздо больше, чем просто набивка между нейронами, удерживающая их на местах. У этих клеток свои действующие системы, они общаются друг с другом и с нейронами при помощи химических сигналов, тем самым добавляя еще один уровень сложности к механизмам обработки информации. К тому же они вносят важный вклад в формирование синапсов (связей между нейронами) в период развития мозга.

Эти звездообразные клетки управляют общением между нейронами, а значит, незаменимы для функционирования синапсов в зрелом мозге. Они тесно контактируют с синапсами – сжимают их своими пальцеподобными отростками, которые могут ослаблять или усиливать хватку, регулируя тем самым поток химических сигналов, проходящих между нейронами. Так же действуют и другие отростки астроцитов – базальные ножки: они обвиваются вокруг капилляров и контролируют движение крови в мозге.

«Глиальные клетки — необходимые участники любого значимого процесса развития мозга, его деятельности и болезни»

Бен Баррес (р. 1955), американский нейробиолог

Астроциты еще и регулируют так называемую синаптическую пластичность – усиление или ослабление отклика на воспринимаемое извне. Эти сравнительно недавно открытые функции привели некоторых исследователей к предположению: некогда скромные астроциты необходимы мозгу для работы памяти.

Но и этим дело не исчерпывается. Радиальные глиоциты играют ключевую роль в развитии мозга. На ранних стадиях этого развития нервная система представляет собой полую трубку, из которой потом на одном конце образуется головной мозг, а на другом – спинной. У клеток радиальной глии есть одиночные отростки, проницающие толщу трубки, разветвляющиеся у внутренней поверхности и производящие незрелые нейроны.

Юные нейроны взбираются по волокнам клеток произведшей их радиальной глии к внешней поверхности трубки.

Эта «радиальная миграция» происходит волнами – так складываются специфические по свойствам слои коры головного мозга, формируясь изнутри наружу, т. е. первая волна мигрирующих нейронов образует

внутренний слой коры, а все последующие минуют уже образовавшийся слой и выстраивают следующий, ближе к поверхности трубки.

Уборка насмарку Глиальные клетки играют роль во многих неврологических расстройствах. Рассеянный склероз, к примеру, заболевание, при котором иммунная система по ошибке нападает на олигодендроциты и разрушает миелиновую оболочку, которую они производят. В результате способность нервов передавать импульсы ухудшается, что приводит к симптомам этого расстройства. В тяжелых случаях нарушение миелинового слоя, изолирующего периферические нервы, вызывает паралич, а поражение зрительного нерва — к слепоте.

«Это связующее вещество... своего рода клей, в который погружены элементы нервной системы»

Рудольф Вирхов (1821–1902), немецкий врач, гистолог, физиолог, патологоанатом, политик

Эти клетки также играют роль в нейродегенеративных заболеваниях — например, болезнях Альцгеймера и Паркинсона. Такого рода недуги характеризуются неестественным скоплением нерастворимых белковых комков внутри или вокруг нейронов. В здоровом мозге микроглиальные клетки приглядывают за порядком и прибирают любые отходы, но, как показывают новейшие исследования, разобраться с этими белковыми комками микроглиоцитам пациентов с нейродегенеративными расстройствами не удается. Недавно ученые обнаружили, что у людей с болезнью под названием «боковой амиотрофический склероз» (разновидность заболевания двигательных нейронов) мутировавшие астроциты испускают ядовитые вещества, убивающие двигательные нейроны.

В сухом остатке

Глиальные клетки играют главные роли на сцене мозга

04 Нервный импульс

Нейроны производят электрохимические возмущения, перемещающиеся по их волокнам. Эти возмущения, именуемые нервными импульсами или потенциалами действия, генерируются малыми электрическими токами вдоль мембраны нервной клетки. Нейроны способны производить до тысячи потенциалов действия в секунду, в последовательности и длительности которых закодирована информация.

Нервные импульсы – электрохимические возмущения, передаваемые вдоль нервных волокон; через них нейроны взаимодействуют друг с другом и с остальным телом. Электрическая природа нервных импульсов задается структурой клеточной мембраны, которая состоит из двух слоев, разделенных небольшим зазором. Мембрана действует и как конденсатор – накапливает электрический заряд, собирая на себе ионы, и как сопротивление, блокируя ток. У нейрона в покое вдоль внутренней поверхности мембраны образуется облако отрицательно заряженных ионов, а вдоль внешней – положительных.

Нейрон, активируясь, испускает (также говорят «генерирует») нервный импульс. Он возникает в ответ на сигналы, полученные от других клеток, и являет собой краткое обратное изменение разности потенциалов мембраны: внутри она становится на мгновение положительно заряженной, после чего быстро возвращается к состоянию покоя. Во время нервного импульса мембрана нервной клетки пропускает внутрь ионы определенных видов. Поскольку ионы электрически заряжены, их движение есть электрический ток сквозь мембрану.

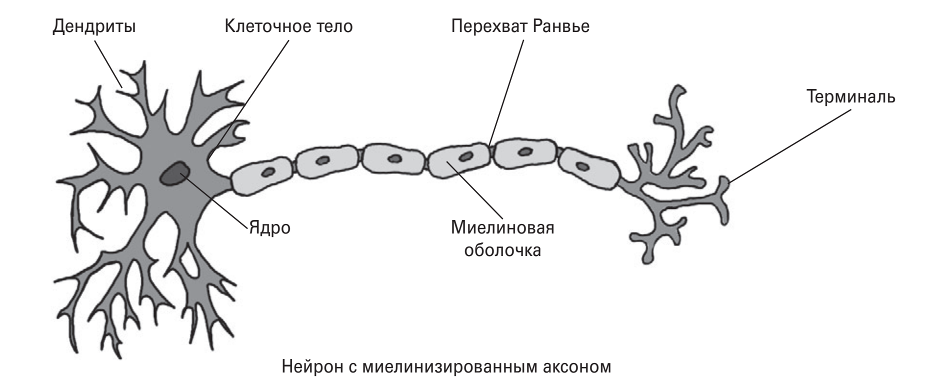
СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1791 Луиджи Гальвани изучает биологическое электричество на лягушках и их рефлексах

1848 Эмиль Дюбуа-Реймон открывает нервный импульс

1850 Герман фон Гельмгольц измеряет скорость проводимости импульсов в нервах лягушки

1878 Луи-Антуан Ранвье описывает узлы на миелиновой оболочке



Нейрон с миелинизированным аксоном

Нейроны в покое Внутри нейронов находятся ионы, но и сами нейроны окружены ионами в других концентрациях. Частицам свойственно двигаться из области с высокой концентрацией в область с низкой, однако мембрана нервной клетки препятствует этому движению, поскольку в основном непроницаема.

Получается, что одни ионы концентрируются снаружи мембраны, а другие – внутри. В результате внешняя поверхность мембраны заряжена положительно, а внутренняя – отрицательно. Мембрана, таким образом, оказывается поляризована.

Все началось с кальмара Механизм потенциала действия – волны возбуждения на мембране клетки – выяснили в начале 1950-х, в классическом эксперименте с микроэлектродами, введенными в аксоны гигантского кальмара. Эти эксперименты доказали, что потенциал действия генерируется последовательными перемещениями ионов сквозь мембрану.

В первой фазе потенциала действия мембрана ненадолго становится проницаемой для ионов натрия, и они заполняют клетку. Это вызывает деполяризацию клетки – разность потенциалов на мембране меняется на обратную, и внутренняя поверхность мембраны заряжается положительно. Вслед за этим клетку стремительно покидают ионы

> **«Похоже, это правдоподобное заключение... что нерв выполняет функцию проводника»**
>
> **Луиджи Гальвани (1737–1798), итальянский врач, анатом, физиолог, физик**

1893
Пауль Флексиг описывает развитие миелинового слоя в мозге

1952
Алан Ходжкин и Эндрю Хаксли описывают механизм нервного импульса в аксонах гигантского кальмара

1998
Род Маккиннон с коллегами определяют структуру потенциал-зависимого калиевого канала

Закон Ома

Закон Ома объясняет, как электрические свойства мозга меняются в зависимости от входящих сигналов. Он описывает соотношение между разностью потенциалов (напряжением) мембраны нервной клетки, ее сопротивлением и током, протекающим сквозь нее. Согласно этому соотношению ток прямо пропорционален напряжению на мембране и описывается уравнением $I = U/R$, где I — электрический ток, U — разность потенциалов, а R — сопротивление.

калия и разность потенциалов мембраны возвращается к исходному состоянию. Проникновение ионов калия внутрь делает заряд на мембране более отрицательным, нежели в состоянии покоя, и клетка, таким образом, оказывается гиперполяризована. В так называемый рефрактерный период нейрон не может произвести следующий потенциал действия, однако быстро возвращается к состоянию покоя.

Потенциалы действия генерируются в структуре, называемой аксонным холмиком, — это место, где аксон растет из клеточного тела. Потенциалы действия перемещаются вдоль аксона, потому что деполяризация одного сегмента волокна вызывает деполяризацию и соседнего. Эта волна деполяризации катится в направлении от клеточного тела и, достигнув терминали нервной клетки, вызывает выброс нейромедиаторов.

Одиночный импульс длится одну тысячную секунды; нейроны кодируют информацию точно выверенной по времени последовательностью импульсов (спайковых разрядов), однако до сих пор неясно, как именно кодируется информация. Нейроны часто производят потенциалы действия в ответ на сигналы от других клеток, однако порождают и импульсы без всяких внешних сигналов. Частота базальных пульсаций, или спонтанных потенциалов действия, варьирует у разных типов нейронов и может меняться в зависимости от сигналов других клеток.

Мембрана действует как барьер и препятствует смешиванию ионов из внешнего и внутреннего растворов

Алан Ходжкин (1914–1998), английский нейрофизиолог, биофизик

Пройдут немногие Ионы проникают через мембрану нервной клетки по белкам, имеющим форму бочки и именуемым ионными каналами. Они пронизывают мембрану и образуют сквозные поры. В ионных каналах есть сенсоры, распознающие изменения в разности потенциалов мембраны, они открываются и закрываются в ответ на эти изменения.

Быстрее Усэйна Болта*

Аксоны спинного и головного мозга изолированы толстой миелиновой тканью, производимой клетками мозга олигодендроцитами. У олигодендроцита ответвлений немного, и каждое состоит из крупного плоского полотна миелина, многократно обернутого вокруг маленького сегмента аксона, принадлежащего другому нейрону. Миелиновая оболочка вдоль длины всего аксона неравномерна: она прерывается с регулярными интервалами, и точки этих прерываний именуются перехватами Ранвье. Ионные каналы сгущаются как раз в этих точках, тем самым обеспечивая перескакивание потенциалов действия с одного перехвата на другой. Так ускоряется весь процесс движения потенциалов действия вдоль аксона — оно происходит со скоростью до 100 м/сек.

Нейроны человека содержат более десятка разных видов таких каналов, и каждый из них пропускает лишь один вид ионов. Активность всех этих ионных каналов во время потенциала действия строго регламентирована. Они открываются и закрываются в определенном порядке – так, что нейроны в ответ на сигналы, получаемые от других клеток, могут генерировать последовательности нервных импульсов.

* Усэйн Сент-Лео Болт (р. 1986) — ямайский легкоатлет, шестикратный олимпийский чемпион, восьмикратный чемпион мира по забегу на короткие дистанции. — *Здесь и далее прим. переводч., кроме оговоренных особо.*

В сухом остатке

Нейроны производят электрические сигналы, несущие информацию

05 Синаптическая передача

Процесс взаимодействия нервных клеток друг с другом называется нейрохимической передачей (трансмиссией). Этот процесс происходит на стыках, именуемых синапсами, и обеспечивается особыми веществами — нейромедиаторами, которые перемещаются между соседними нейронами и переносят сигналы. Нейрохимическая передача модифицируется обучением; влияет на нее и воздействие химических препаратов.

Электрические импульсы, производимые нейронами, не могут просто взять и перепрыгнуть с одной клетки на другую: они конвертируются в химические сигналы, и вот их уже можно передать от клетки к клетке. Этот процесс, называемый нейротрансмиссией, происходит в особых местах смычки нейронов – в синапсах и обеспечивается нейромедиаторами – веществами, перемещающимися между клетками. Как правило, нейроны синтезируют и вбрасывают в оборот одну разновидность нейромедиаторов и формируют очень точные связи так, чтобы каждый тип сигнала поступал к конкретным «целевым» клеткам. Обучение и память, как это сейчас представляется, связаны с модификацией синапсов внутри сети нейронов; наркотики неким образом также меняют синаптическую передачу.

Суперсинапс Синапсы состоят из двух особых частей: пресинаптической терминали клетки, производящей сигнал, и постсинаптической клетки, которая этот сигнал принимает. Молекулы нейромедиатора хранятся в пресинаптической терминали в виде крошечных сферических структур – в синаптических пузырьках (везикулах), погруженных в активную зону вблизи клеточной мембраны.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1897

Чарлз Шеррингтон предлагает термин «синапс», от греческого συνάπτειν — «сжимать, обхватывать»

1914

Хенри Дейл с коллегами устанавливают, что нейромедиатор потенциала действия — вещество ацетилхолин

Прибытие потенциала действия к терминали нерва заставляет везикулу соединиться с мембраной и выбросить свое содержимое в синаптическую щель.

Покинув везикулу, молекулы нейромедиатора диффундируют сквозь синаптическую щель и связываются с рецепторами на мембране постсинаптического нейрона. Некоторые рецепторы меняют электрические свойства постсинаптической клетки впрямую — провоцируют небольшие токи, направленные вовнутрь или вовне клетки. Другие воздействуют косвенно и медленнее, инициируя каскады биохимических реакций. После этого нейромедиаторы поглощаются той же клеткой, что их вбросила; это поглощение называется «обратным захватом».

Осторожно, двери закрываются

Нейроны общаются друг с другом и при помощи электрических синапсов; они называются щелевыми контактами. Эти контакты образованы коннексинами — белками, проницающими мембраны соседних клеток и таким образом соединяющими их. Щелевые контакты дают возможность мгновенно передавать электрический сигнал от нейрона к нейрону, благодаря чему целая сеть взаимосвязанных клеток при прохождении через них электрических токов может реагировать разом и синхронно.

Нейротрансмиссия — сложный процесс, это слаженные действия сотен белков по обе стороны синапса, и каждый белок выполняет свою особую функцию. В пресинаптических нейронах слияние везикул с пресинаптической мембраной контролирует десятки белков. На другой стороне синапса десятки рецепторов и другие многочисленные компоненты сигнальной машинерии организованы в высшей степени упорядоченно — так обеспечивается максимальная эффективность передачи сигнала. Мозг, обрабатывая поступающую информацию, влияет на синаптические взаимодействия путем регулирования активности нейротрансмиссии. Количество синаптических пузырьков может быть увеличено или сокращено, и таким образом меняется число испускаемых молекул нейромедиатора. С другой

> **«Учитывая вероятную важность... сочленения между нейронами, сподручно было бы его как-то назвать. Предложенное обозначение — синапс»**
>
> **Сэр Чарлз Шеррингтон (1857–1952), английский физиолог, нейробиолог**

1921
Отто Лёви приводит первое доказательство синаптической трансмиссии

1936
Дейл и Лёви получают Нобелевскую премию по физиологии за открытие функций ацетилхолина

Сон Отто Лёви

Нейротрансмиссию открыл в 1921 году Отто Лёви — в эксперименте, который будто бы явился ему во сне. Лёви взял два лягушечьих сердца, у одного оставил блуждающий нерв (вагус), а у другого нет. Поместил их в разные емкости, наполненные соленой водой, и электрически простимулировал нерв так, что сердце, с которым нерв был связан, забилось спокойнее. Затем Лёви перенес немного раствора из емкости с этим сердцем в емкость с другим и обнаружил, что второе сердце тоже замедлило ход. Эксперимент подтвердил, что электрическая стимуляция вызывает в нерве, к которому она приложена, выброс химического сигнала, сбавляющего сердечный пульс. Лёви назвал это вещество «вагустофф», т. е. «вещество вагуса», но вскоре выяснилось, что это — ацетилхолин: за несколько лет до эксперимента Лёви это обнаружил Хенри Дейл.

Диаграмма эксперимента Отто Лёви

стороны синапса рецепторы могут появляться и исчезать с постсинаптической мембраны, тем самым меняя восприимчивость клетки к сигналам.

Зачем нам нейромедиаторы Мозг содержит около квадриллиона (миллион миллиардов) синапсов и производит около сотни различных нейромедиаторов. Глутаминовая кислота, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК) и глицин – нейромедиаторы-аминокислоты. Моноамины – другая группа нейромедиаторов, в нее входят дофамин, адреналин и серотонин. Дофамин часто называют «молекулой удовольствия», потому что она связана с механизмами поощрения, а также играет важную роль в процессах внимания, памяти и движения. Серотонин – важнейший фактор для формирования настроения.

Нейропептиды – белки с маленькими молекулами, играющие важнейшую роль в передаче болевых сигналов, тогда как эндоканнабиноиды – группа медиаторов, привлекающая в последние годы все больше внимания исследователей: они вовлечены в процессы, связанные с аппетитом, настроением и памятью.

Отметим и ацетилхолин: именно его посылают мышцам двигательные нейроны, а еще он задействован в автономной нервной системе — вместе с оксидом азота, играющим важную роль в обучении и запоминании.

Возбуждение — торможение Все нейромедиаторы можно в целом разделить на два разных типа — в соответствии с воздействием, которое они производят на нейроны: возбуждающие нейромедиаторы деполяризуют мембрану нервной клетки, тем самым готовя клетку к генерированию потенциала действия, тогда как медиаторы торможения сильнее заряжают мембрану, и клетка, соответственно, менее склонна к реагированию (*см. стр. 16*).

Здоровая работа мозга зависит от тонкого равновесия между возбуждением и торможением, и нарушение этого равновесия может иметь серьезные последствия. Эпилепсия, например, характеризуется судорогами, которые, судя по всему, провоцируются переизбытком возбуждающих нейромедиаторов.

Как действуют химические препараты Молекулярная структура некоторых наркотиков аналогична нейромедиаторам, и поэтому эти вещества имитируют их действие. ЛСД, например, смахивает на серотонин и активирует серотониновые рецепторы, связываясь с ними химически вместо нейромедиатора. Другие наркотики активируют нейромедиаторные рецепторы в определенных областях мозга. Рецептор ГАМК-А, к примеру, имеет область, способную химически связываться с препаратом диазепамом и сходными веществами. Эти наркотики ослабляют тревожность, активируя рецепторы ГАМК-А в некоторых областях мозга, тем самым усиливая синаптическую трансмиссию торможения. Есть и такие вещества, которые усиливают или блокируют обратный захват нейромедиаторов. Прозак и похожие на него антидепрессанты называют избирательными ингибиторами (замедлителями) обратного захвата серотонина. Они не позволяют нейронам «втягивать» серотонин после трансмиссии, тем самым продляя его воздействие на синапсы.

В сухом остатке
Нейроны передают друг другу химические сигналы

06 Чувственное восприятие

Чувства — окна, через которые информация об окружающем мире поступает в мозг. Каждый орган чувств занят сбором данных в форме физической энергии, после чего эта энергия преобразуется в электрические импульсы, отправляемые в мозг, где они обрабатываются и интерпретируются, превращаясь в постигаемое переживание мира.

Мозг эволюционировал, чтобы распознавать изменения в окружающей среде и реагировать на них, а информацию о внешнем мире он получает от органов чувств. Каждый орган чувств засекает чувственные (сенсорные) возбудители и переводит их на электрохимический язык мозга. Пять чувств — зрение, слух, осязание, вкус и обоняние — описал как таковые еще 2000 лет назад древнегреческий философ Аристотель. Научное же исследование восприятия началось лишь в XIX веке, а современная нейробиология позволяет нам глубже понимать механизмы восприятия.

Все сенсорные системы мозга имеют общую схему. Первая стадия восприятия называется сенсорным преобразованием — это процесс, в котором рецепторы засекают физические стимулы в окружающей среде и преобразуют их в электрические импульсы. Далее информация направляется в таламус (или «внутреннюю камеру»), а оттуда — в соответствующую область коры головного мозга.

Прозрение о зрении Зрение изучено и понято лучше остальных чувств. Сетчатка содержит фоторецепторы нескольких разновидностей, восприимчивые к частицам света — фотонам. Свет, достигая сетчатки, вызывает в фоторецепторах биохимическую реакцию.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1604
Иоганн Кеплер описывает перевернутый образ с сетчатки

1826
Чарлз Белл расширяет представление о проприоцепции, или «мышечном чувстве»

1876
Франц Кристиан Болл открывает родопсин

Фоторецепторы передают сигналы о поступившем свете другим клеткам сетчатки, и те производят первичную обработку зрительной информации. Далее полученные данные передаются по зрительному нерву к области таламуса, именуемой латеральным (боковым) коленчатым телом, а оттуда они попадают в зрительную кору.

Зрительная кора расположена в задней части мозга — в затылочной доле, она содержит десятки областей, каждая из которых имеет свою функцию, и зрительная информация обрабатывается в строгом иерархическом порядке. В зрительной коре размещено множество трактов, и каждый обрабатывает свою разновидность входящих данных. В зрительных трактах данные обрабатываются параллельно, после чего сливаются воедино — происходит финальная стадия обработки.

Обработка начинается в первичных (или подкорковых) зрительных центрах, где расположены клетки, реагирующие на общие черты воспринятого изображения, в том числе контрастность и границы предметов. Информация переходит от одной области зрительной зоны к другой и становится с каждым этапом все сложнее: общие черты изображения — форма, цвет, движение — по мере перемещения по зрительному тракту сплетаются воедино, и световой узор, легший на сетчатку, реконструируется в подвижный образ мира, который мы «видим».

Услышьте же Ухо проводит звуковые волны к барабанной перепонке, а та передает их на улитку — спиралевидное устройство с тремя заполненными жидкостью полостями. Звуковые волны передают колебания жидкости, которые регистрируются особыми рецепторами — волосковыми клетками: каждая чувствительна к звуковым волнам определенной частоты.

Информация затем переносится слуховым нервом, через таламус к височным

«Шестое» чувство

Проприоцепция, иногда называемая шестым чувством, — это наше ощущение движения и взаимного расположения частей тела. Мышцы содержат рецепторы растяжения — нервно-мышечные веретена, они засекают изменения в длине мышц и сообщают о них по периферическим нервам спинному мозгу. Сигналы оттуда направляются в головной мозг, где вырабатывается модель положения тела в пространстве.

1880
Фрэнсис Голтон (Гальтон) описывает графемно-цветовую синестезию

1911
Альвар Гульстранд получает Нобелевскую премию за офтальмологические наработки

1916
Синобу Исихара публикует тест определения цветовой слепоты

2004
Линда Бак и Ричард Аксел получают Нобелевскую премию за исследования обоняния

Единение чувств

«Синестезия» означает «единство чувств» и описывает явление, при котором стимуляция одного органа чувств приводит к ощущениям в другом. Физик Ричард Фейнман был так называемым «графемно-цветовым синестетом», т. е. переживал ощущение определенных цветов, рассматривая буквы и цифры, а художник-экспрессионист Василий Кандинский — синестетом звуко-цветовым, т. е. ассоциировал те или иные музыкальные ноты с красками. Другие формы синестезии: зеркальная (наблюдаемое прикосновение к другому человеку рождает осязательные ощущения), пространственно-временная (отрезки времени — дни или месяцы — воспринимаются как занимающие определенное место в пространстве относительно тела). Синестезия когда-то считалась исключительно редкой, но, по современным оценкам, встречается примерно у одного процента населения. Согласно одной теории она возникает, когда связи между разными сенсорными трактами, исчезающие в процессе развития мозга, сохраняются. В другой теории предполагается, что синестезия возникает в результате слишком активных «перекрестных помех» между сенсорными трактами.

долям мозга, где расположены области, отвечающие за обработку звука. Там же, в височной доле, находятся центры распознания речи; при поражении этих зон могут возникнуть трудности с производством или пониманием речи. Слуховой нерв отправляет информацию и к нижнему холмику – участку мозгового ствола, где происходит определение источника звука путем сравнения сигналов от левого и правого уха.

Чувствуем мир Соматосенсорная система обрабатывает осязательные, болевые и температурные данные, улавливаемые рецепторами нервных окончаний вблизи поверхности кожи. Эта информация передается по периферическим нервам к спинному мозгу и далее – в головной, где и обрабатывается первичной соматосенсорной областью коры мозга. У каждой задействованной клетки имеется одиночное волокно, тянущееся от поверхности кожи к спинному мозгу, – это самые длинные клетки нервной системы.

Нервные окончания этих чувствительных нейронов содержат многочисленные рецепторы, специализирующиеся на регистрации разной соматосенсорной информации. Одни рецепторы различают холод и жар, другие – прикосновение, зуд или боль. Каждый вид информации поступает к спинному мозгу по выделенным нервным волокнам.

Информация о боли передается специальными чувствительными нейронами ноцицепторами — комплексом рецепторов, регистрирующих один или несколько неприятных стимулов: слишком низкие или слишком высокие температуры, чрезмерное механическое давление или опасные вещества. Есть среди них и рецепторы, чувствительные к различным субстанциям, испускаемым пораженными клетками.

Наука запаха и вкуса Внутренняя поверхность носа выстлана тонкой тканью, состоящей примерно из тысячи разных обонятельных рецепторов, регистрирующих летучие пахнущие вещества. Клетки, снабженные этими рецепторами, имеют аксоны, простирающиеся к разным участкам мозга, которые вместе дают нам возможность воспринимать запахи и делать из этого поведенческие выводы. Вещества, именуемые феромонами, играют важную роль в поведении животных и, возможно, людей.

Вкусовые сосочки языка имеют рецепторы, определяющие соленый, кислый, горький и сладкий вкусы, а также пряное ощущение — умами. Новейшие исследования показывают, что вкусовые предпочтения обусловлены генетически — по крайней мере, отчасти. Например, вариации в гене, кодирующем обонятельный рецептор OR_7D_4, определяют чувствительность к андростенону — феромону, обнаруженному в приготовленной свинине, и носителям двух копий определенного варианта этого гена свинина нравится меньше, чем другим людям. Вкус и запах — самые малопонятные человеческие ощущения, однако нам известно, что они друг с другом тесно связаны. Насколько тесно? Убедитесь сами: зажмите нос во время еды — обнаружите, что не чувствуете вкуса.

«Все наше знание начинается с чувств, далее превращается в понимание и венчается разумом»

Иммануил Кант (1724–1804), немецкий философ

В сухом остатке
Органы чувств кормят мозг данными

07 Движение

Обеспечение двигательной активности — одна из главных функций нервной системы, значительная часть работы которой посвящена планированию и осуществлению движений. Процессы движения организуются многочисленными участками и головного, и спинного мозга, они совместно контролируют мышцы тела. При болезни Паркинсона и других двигательных расстройствах повреждается двигательная часть нервной системы.

Движения тела — одна из первостепенных функций нервной системы. Всем животным, включая человека, приходится двигаться в поисках партнеров и пропитания, скрываясь от хищников и уходя от потенциально опасных ситуаций. Следовательно, значительная часть мозга занята планированием и осуществлением движений. Двигательная система человеческого мозга включает кору, а также многие подкорковые структуры и спинной мозг. Эти структуры, действуя совместно, приводят тело человека в движение.

Кора головного мозга. Лобные доли имеют несколько выраженных областей, специализирующихся на движении. Одна — дополнительная моторная кора, здесь происходит планирование движения. Другая, премоторная кора, кодирует намерение к тому или иному конкретному движению и на основании чувственных данных выбирает наиболее подходящее. Первичная двигательная кора, расположенная в задней части лобных долей, содержит крупные нейроны под названием «клетки Беца»; от них вдоль спинного мозга отходят длинные волокна, образующие синапсы с двигательными нейронами, отправляющими сигналы мускулатуре. Эти волокна, проходя через

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1800
Самуэль фон Зёммеринг идентифицирует «черное вещество»

1817
Издание «Очерка о дрожательном параличе» Джеймза Паркинсона

1823
Мари-Жан-Пьер Флуранс устанавливает роль мозжечка в управлении движениями

Коленный рефлекс

В спинном мозге имеются нейронные сети, способные инициировать простые, непроизвольные движения, без ведома мозга. Пример — коленный рефлекс: врачи с его помощью проверяют позвоночник на повреждения. Этот рефлекс производится простой спинномозговой сетью, содержащей всего два нейрона. Удар молоточком под коленной чашечкой активирует разгибательный рецептор в квадрицепсе, и этот рецептор отправляет нервный импульс вдоль нервного волокна в спинной мозг. Там чувствительное волокно образует синапс с двигательным нейроном. Он принимает импульс и передает сигнал мышцам ноги, в результате чего нога ниже колена дергается вперед.

Коленный рефлекс осуществляется за 50 миллисекунд и называется «моносинаптическим», потому что обеспечивается всего одним нейроном. Он помогает нам удерживать нормальное положение тела.

Спинной мозг и моносинаптический коленный рефлекс в разрезе

ствол мозга, проникают с одной стороны нервной системы на другую. Таким образом, полушария мозга контролируют движения противоположной половины тела.

Базальные ганглии (ядра). Это группа подкорковых структур, расположенных под корой лобных долей, и вместе они образуют стриатум, или полосатое тело. Базальные ганглии имеют много разнообразных функций, в том числе контроль произвольных движений, и связаны они почти исключительно с корой головного мозга. Согласно одной гипотезе базальные ганглии генерируют композиции движений, которые доводятся до осуществления в коре. Затем они получают информацию о результатах и закрепляют наиболее успешные композиции при помощи поощрительного дофаминового сигнала.

1874

Владимир Алексеевич Бец открывает гигантские пирамидальные нейроны в первичной двигательной коре

1924

Чарлз Шеррингтон открывает разгибательный рефлекс

Однако недавние исследования позволяют предположить, что базальные ганглии сами быстро обучаются новым навыкам, отслеживая вариации в движениях, и обучают кору выполнять наиболее оптимальный вариант того или иного движения. При недугах типа болезней Паркинсона или Хантингтона оказываются затронуты как раз базальные ганглии.

Мозжечок. Этот отдел расположен за стволом мозга и отвечает за равновесие тела, контроль и координацию движений. Выполнение этих функций осуществляется благодаря чувственным сигналам и информации от двигательных зон коры головного мозга. Мозжечок также играет важную роль во временно́й и пространственной точности движений, а также в обучении двигательным навыкам. Поначалу освоение любого двигательного навыка требует много внимания, но когда он усвоен, все движения можно выполнять без усилий и почти бессознательно — в основном благодаря тому, что они уже запрограммированы в мозжечке. Связи между двумя типами клеток мозжечка — клетками Пуркинье и гранулярными — продолжают формироваться еще долго после рождения человека; именно поэтому маленькие дети не сразу учатся ходить и владеть мелкой моторикой. А эффект, который оказывает на мозжечок алкоголь, объясняет, почему пьяных людей мотает при ходьбе.

Спинной мозг человека состоит из тридцати одного сегмента, в каждом — пучок двигательных нейронов, чьи волокна тянутся к мышцам по всему телу. Спинные двигательные нейроны расположены ближе к задней поверхности позвоночника, а волокна проникают наружу через щели между позвонками, переплетаясь с сенсорными нервными волокнами, исходящими из передней части позвоночника; вместе они образуют периферическую нервную систему. Двигательные нейроны спинного мозга принимают сигналы от двигательных нейронов из первичной моторной коры и, в свою очередь, передают мышцам команды о том или ином их сокращении. Двигательные нейроны сообщаются с мышцами посредством особых синапсов — нервно-мышечных; отдельный двигательный нейрон и мышца, которой он управляет, купно именуются двигательной единицей. Произвольные движения планируются в мозге, а инструкции по их осуществлению направляются вниз по спинному мозгу, однако и спинной мозг умеет самостоятельно инициировать простые движения — они называются рефлексами и не требуют участия головного мозга (*см. стр. 29*).

‘Мозг нам дан исключительно для одного: чтобы производить приспосабливаемые сложные движения’

Дэниэл Уолперт (р. 1963), британский нейрофизиолог, врач, инженер

Двигательные расстройства Многие нейродегенеративные заболевания влияют на нашу способность двигаться — и все они так или иначе повреждают определенные компоненты двигательной системы мозга. Болезнь Паркинсона, к примеру, характеризуется смертью нейронов, производящих дофамин на участке базальных ганглиев под названием «черное вещество»; в результате у больного развивается тремор и брадикинезия (замедленность движений), ухудшается эластичность мышц.

При болезни Хантингтона полосатое тело повреждается на первых же этапах недуга и приводит к неконтролируемым движениям, которые учащаются и усиливаются по мере развития заболевания. (Описывая проявления этой болезни, ее поначалу называли хореей Хантингтона — «хорея» по-гречески означает «танец».)

Заболевания двигательных нейронов — другая группа расстройств, влияющих на движения. Исходя из названия, эти заболевания связаны со смертью «верхних» двигательных нейронов в коре головного мозга или «нижних» — спинного. При этих расстройствах становится трудно ходить, говорить, дышать и глотать, что усугубляет инвалидность и в конце концов приводит к смерти.

Инсульты тоже могут влиять на двигательную активность. Зачастую они наносят урон двигательной коре левого полушария или областям вокруг нее, включая зоны, контролирующие мышцы, задействованные в производстве речи, в результате чего развиваются классические симптомы паралича правой половины тела и отказа речевого аппарата.

В сухом остатке

Движения — главный продукт мозга

08 Топография мозга

Поверхность тела и некоторые особенности внешнего мира с высокой степенью упорядоченности интегрированы в мозг. Эти так называемые «топографические карты» существуют в системах мозга — и в сенсорных, и в двигательных. Они формируются по мере развития мозга и необходимы для обработки поступающей информации.

В 1920-х годах нейрохирург Уайлдер Пенфилд предложил методику электрического возбуждения мозга пациентов, находящихся в сознании, для обнаружения и удаления патологических тканей мозга, вызывающих судороги, не затрагивая близлежащих тканей, занятых важными задачами — например, производством речи или памяти. Пенфилд применял местную анестезию скальпа пациентов, вскрывал череп, обнажая поверхность мозга, после чего подсоединял к нему электроды.

Пенфилд прооперировал таким манером около 400 пациентов, методично работая с многими областями мозга. Поскольку его пациенты все время пребывали в сознании, они имели возможность сообщать о своих ощущениях. Пенфилд обнаружил, что стимулирование средней части височной доли, например, пробуждало в пациентах яркие воспоминания, а областей в зрительной коре — несложные световые узоры. Но важнейшее и самое известное его открытие — карты тела, содержащиеся в первичной двигательной и соматосенсорной коре.

Когда Пенфилд стимулировал определенную область левой соматосенсорной коры — полоску ткани, проходящую вдоль передней части теменной доли, — пациент сообщал об ощущении покалывания в правой руке.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1928

Уайлдер Пенфилд разрабатывает методику электростимуляции мозга на пациентах в сознании

1943

По итогам экспериментов на шпорцевых лягушках Роджер Сперри выдвигает гипотезу химического сродства

Перемещение электродов на сантиметр вверх по соматосенсорной полосе вызывало у пациента чувство, будто его трогают за предплечье или локоть. Похожим образом дело обстоит и с двигательной корой, располагающейся в лобной доле. Стимулирование участка двигательной коры вызывало подергивание мышц или небольшие движения в зеркально противоположной части тела, а перемещение электродов к соседней области побуждало к движению соседнюю часть тела.

«Растущие волокна при установлении синаптических связей крайне щепетильны, и каждый аксон соединяется лишь с определенными нейронами, к которым он избирательно примыкает посредством особого химического сродства»

Роджер Сперри (1913–1994), американский нейропсихолог, нейробиолог

Пенфилд обнаружил, что у разных людей из-за особенностей индивидуального устройства мозга реакции на стимулирование слегка разнятся, однако в целом организация этих карт у всех примерно одна и та же: тело представлено на поверхности мозга высоко упорядоченно — соседние участки тела спроецированы в точности по соседству и в мозге. Пенфилдова революционная методика электростимулирования до сих пор в ходу у нейрохирургов — усовершенствованная технически, разумеется. Его открытие топографической организации двигательной и соматосенсорной коры, отраженное в знаменитом «гомункуле» (*см. стр. 34*) по-прежнему актуально.

Зрительная карта Зрительная информация, поступающая через глаза, также имеет карту в мозге; это явление носит название «ретинотопия». На первой стадии обработки зрительной информации световая энергия попадает на фоторецепторы сетчатки так, что соседние области зрительного поля оказываются на соседних участках сетчатки. Такое топографическое устройство распространяется на всю зрительную систему. Оптический нерв выходит из тыльной стороны глаза и добирается до латерального коленчатого тела (*см. стр. 25*), которое передает зрительные данные соответствующим областям затылочной доли в задней части мозга. Соседние клетки сетчатки тянутся волокнами к соседним же друг с другом областям латерального коленчатого тела, а те в свою очередь — к соседним друг с другом областям зрительной коры.

1950
Уайлдер Пенфилд суммирует труд всей жизни в книге «Кора головного мозга человека»

2012
Исследователи обнаруживают «тонотопическую» организацию в системе обоняния мыши

Мозговой человечек

Нейрохирург Уайлдер Пенфилд (1891–1976) спроецировал тело на поверхность мозга путем электрической стимуляции коры пациентов-эпилептиков, в ходе эксперимента находившихся в сознании и сообщавших о своих ощущениях. Пенфилд обнаружил, что некоторые части тела представлены непропорционально обширными двигательными и соматосенсорными областями коры. Площадь коры, соответствующая той или иной области тела, зависит от количества нервных окончаний в этой части тела. Руки и лицо — самые чувствительные и содержат больше отдельных мышц, чем любой другой участок организма. Поэтому под них и занята бóльшая часть первичной двигательной и соматосенсорной коры, что отражает теперь уже знаменитый гомункул, которого впервые изобразила секретарша Пенфилда. Пенфилд также установил, что области, связанные со стопами и гениталиями, располагаются в соматосенсорной коре по соседству, и этим объяснил сексуальное влечение к ступням (фут-фетишизм), однако последние исследования этого вывода не подтверждают.

Трехмерная скульптура знаменитого гомункула

Главенствующая ныне гипотеза формирования ретинотопических карт восходит к серии классических, хоть и довольно зверских, экспериментов, поставленных на африканской шпорцевой лягушке в 1940-х годах. Роджер Сперри перерезал лягушкам зрительные нервы, переворачивал глазные яблоки на 180°, а затем помещал их обратно в глазницы. За несколько недель после этой операции волокна зрительного нерва восстанавливались и врастали обратно в зрительный тектум* — главную область обработки зрительной информации у земноводных. После этого Сперри проверял зрение прооперированных лягушек и обнаружил, что оно перевернутое: муха, подвешенная над лягушкой, провоцировала ее высовывать язык вниз, а на муху справа лягушки реагировали, высовывая язык влево.

* Область среднего мозга позвоночных; называется так у немлекопитающих, а у млекопитающих ее принято называть верхним двухолмием.

Эти открытия продемонстрировали, что восстановившиеся волокна зрительного нерва как-то находят способ врасти в исходных местах в тектуме. Сперри объяснил это «гипотезой химического сродства», согласно которой волокна зрительного нерва и места их подсоединения к тектуму

имеют комплементарные молекулярные «метки», по которым обнаруживают друг друга. Эту гипотезу подтвердили и современные исследования: они показывают, что растущие нервные волокна и впрямь направляются по верному пути при помощи особых химических сигналов.

Карты звуков и запахов Топографические карты существуют и в ушных и мозговых структурах, связанных со слухом. Улитка, спиралевидная структура внутреннего уха, содержит клетки, чувствительные к звуковым волнам разной частоты. Обычно мы слышим звуковые волны с частотами в диапазоне от 20 до 20 000 Гц, они связаны с определенными нотами – чем ниже частота, тем ниже нота звучания.

Волосковые клетки, реагирующие на самые низкие частоты, расположены в одном конце улитки, а реагирующие на самые высокие – на другом. Как и в случае зрительной системы, такое «тонотопическое» устройство есть и в первичной слуховой коре, в верхней части височной доли. Здесь нейроны организованы в группы, настроенные на определенные диапазоны частот. Группа в передней части содержит клетки, настроенные на частоты до 500 Гц, затем – на частоты от 500 до 1000 Гц и т. д.

Новейшие исследования показывают, что и обонятельная система устроена похоже. В обонятельной луковице* имеются структуры под названием «гломерулы» (клубочки), а в них содержатся нейроны, реагирующие на определенные запахи. Клубочки собраны в пучки в соответствии с запахами, на которые настроены: клетки, связывающиеся химически с молекулами пахучих веществ со сходным устройством, расположены рядом друг с другом.

* Одна из структур центрального отдела обонятельной системы человека, расположена в переднем мозге.

В сухом остатке
Мозг хранит карты тела и окружающей среды

09 Специализированные области мозга

Состоит ли кора головного мозга из десятков отдельных областей, образованных клетками одного вида и занятых выполнением той или иной специальной функции? Такое представление значительно повлияла на наше понимание работы мозга, однако ей противостоит другая теория: взаимосвязанные области мозга работают вместе.

Представление о том, что мыслительные (когнитивные) функции локализуются в специфических областях мозга, называется «функциональной модульностью», или «локализацией мозговой функции». Оно восходит к XVIII веку, когда Франц Йозеф Галль развил френологию — систему, в которой черты личности увязывались с формой, размером и местоположением шишек на черепе. Весь XIX век френология пользовалась большой популярностью, но от нее как от псевдонауки в конце концов отказались.

Локализация мозговых функций набрала научной убедительности примерно к середине XIX века — благодаря работам двух неврологов, заметивших, что у пациентов с речевыми трудностями были поражены определенные участки мозга. Один из этих неврологов — Пьер-Поль Брока, он изучал пациентов, переживших инсульт. Брока исследовал мозг пациентов после их смерти и заметил, что у всех повреждена одна и та же часть мозга — левая лобная доля. Эта область получила название центр Брока, а неспособность говорить после инсульта — афазия Брока.

Примерно через десять лет немецкий врач Карл Вернике исследовал пациентов-инсультников, утерявших способность понимать устную речь. Изучив их мозг, он заметил, что все повреждения — в другой

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1796
Франц Йозеф Галль развивает френологию

1861
Пьер-Поль Брока представляет свою работу о мозге пострадавших от инсульта

1874
Карл Вернике публикует результаты исследования пациентов-инсультников, утерявших способность понимать устную речь

специфической области. Ныне эта область называется центром Вернике, он расположен в левой височной доле, а неспособность понимать устную речь после инсульта иногда именуют афазией Вернике. (*См. также главу 28 «Восприятие речи»*.)

Поля Бродмана В первой половине XX века немецкий анатом Корбиниан Бродман систематически анализировал и сравнивал кору головного мозга человека, обезьяны и различных других видов млекопитающих. Он вскрывал ткани разных частей коры, окрашивал их по методике Ниссля* и изучал их внутреннюю структуру под микроскопом. Хотя кора головного мозга имеет единую слоистую структуру, Бродман заметил тонкие различия. В некоторых областях одни слои были выражены отчетливее других, а нейроны в них расположены плотнее.

* Франц Ниссль (1860–1919) — немецкий невропатолог и психиатр; метод окрашивания нервных волокон изобрел еще в свои студенческие годы.

Кроме того, Бродман обратил внимание, что эти различия в клеточной структуре определяют границы между соседними областями. Основываясь на этих наблюдениях, он разделил кору головного мозга человека на 43 выраженные области и в 1909 году опубликовал свою карту. Карта Бродмана была в ходу весь прошлый век и остается значимой поныне. Первичная двигательная кора, например, частенько именуется четвертым полем Бродмана, а первичная зрительная кора также известна как поле 17.

Исследователи при помощи современных методик подтвердили изначальные наблюдения Бродмана, однако выяснили и многие новые подробности, уточнившие первые карты. К примеру, Бродман перечислил пять полей в мозге обезьяны (поля 17–21), относящихся к обработке зрительной информации, а современные анатомические и психологические методы показывают, что эти области можно поделить на 40 выраженных зон, и у каждой — своя функция.

Работает все и разом Некоторые исследователи критиковали представление о коре головного мозга как о совокупности отдельных специализированных областей и предпочитали идею «распределенной

«Великое множество особым образом обустроенных структурных областей предполагает особое разделение самостоятельных функций»

Корбиниан Бродман (1868–1918), немецкий невролог

1909
Корбиниан Бродман издает сравнительные исследования коры головного мозга

1920-е
Карл Лэшли пытается определить область памяти в мозге крыс

1947
Йоахим Бодамер вводит термин «прозопагнозия»

1992
Джастин Сёрджент описывает веретенообразную лицевую область

Знать меня, знать тебя

Особенное значение для межчеловеческого общения имеют лица, хотя по-прежнему обсуждается, обращается ли мозг с лицами как с особыми раздражителями или же они просто подкатегория объектов. Веретенообразная лицевая область, расположенная на нижней поверхности височной доли, очень избирательно реагирует на лица, из чего может следовать, что она специализируется на распознавании лиц и что лица — да, особая история. Повреждение веретенообразной лицевой или прилегающих областей вызывает прозопагнозию, или лицевую слепоту, — расстройство, при котором у пациента отказывает способность различать лица. В предельных случаях страдающие прозопагнозией не в состоянии узнать даже себя в зеркале или на фотографиях. В книге «Человек, который принял жену за шляпу» невролог Оливер Сакс описал случай одного сельского жителя, который прежде умел различать своих коров по мордам, но в результате поражения мозга утерял эту способность.

Веретенообразная извилина включает в себя область, активно реагирующую на лица

обработки». Этой позиции придерживался физиолог Карл Лэшли. В 1920-х годах Лэшли произвел серию знаменитых экспериментов с целью выяснить, где именно в мозге хранятся воспоминания. Он обучил крыс находить выход из лабиринта, после чего повреждал разные части коры их мозга, пытаясь тем самым стереть память.

Он обнаружил, что крысы все равно всегда выбирались из лабиринта, независимо от поражений мозга. Основываясь на этом наблюдении, Лэшли заключил, что функция памяти не локализована в конкретной области коры, а распределена по всему мозгу.

Также было замечено, что некоторые области мозга, вроде бы специализирующиеся на определенных функциях – например, обработке зрительной или звуковой информации, – могут решать и другие задачи. Возьмем результаты одного исследования, опубликованные в 2012 году: они показали, что у врожденно глухих людей слуховая кора, которая обычно занята усвоением звуковой информации, может обрабатывать осязательные и зрительные данные.

И все же функциональная модульность и распределенная обработка не исключают друг друга. Разумеется, современный взгляд на работу мозга – комбинация этих двух представлений. Неврологи полагают, что мозг работает в режиме, как они это называют, «массово-параллельного распределенного процессора», с многочисленными сетями, срабатывающими вместе и производящими наши мысли и действия. Иными словами, мозг все-таки содержит участки, занятые выполнением особых задач, однако эти отдельные участки мозга действуют не сами по себе. Напротив, каждый следует воспринимать как узел сети, распределенной по всему мозгу или в пределах отдельных его областей.

Каждая сеть состоит из сложных, связанных между собой участков мозга, сообща работающих над кодированием определенного вида информации или над производством тех или иных действий. Внутри каждой такой сети данные перерабатываются серийно или передаются от одной области к другой, и обработка происходит последовательно. Эти многосоставные сети, вероятно, работают одновременно, а на более высоком уровне организации деятельность таких многосоставных цепей собирается воедино, из чего получается суммарный порядок деятельности, а из него, в свою очередь, – наши мысли и поступки.

В сухом остатке

Кора головного мозга содержит особые участки со специальными функциями

10 Асимметрия мозга

Между левым и правым полушариями мозга существуют анатомические различия, а также разделение труда: определенные функции выполняются лишь в одном из полушарий. Язык и речь, например, по большей части связаны с левым полушарием, тогда как пространственные навыки и восприятие — в существенной степени с правым. Открытие этих асимметрий привело к известному мифу о лево- и правополушарных людях.

Асимметрия мозга у большинства животных очевидна и, вероятно, возникла у наших эволюционных предков около 500 миллионов лет назад. Человеческий мозг разделен на левое и правое полушария, каждое контролирует зеркально противоположную часть тела. Полушария связаны друг с другом мозолистым телом — мощным пучком из нескольких сотен миллионов нервных волокон, а также двумя пучками нервных волокон поменьше, один ближе к передней, другой — к задней части мозга. На первый взгляд, левое и правое полушария смотрятся как отражения друг друга, однако, если вглядеться пристальнее, можно заметить, что они отличаются и по форме, и по размеру.

Одинаковые, да разные Левое и правое полушария мозга близки по весу и объему, однако левое полушарие обычно чуть крупнее правого. Кроме того, левое полушарие слегка выступает сзади, а правое — спереди.

Передние и центральные области с участками, отвечающими за речь и движение, обычно шире в правом полушарии, а затылочная доля с участками, отвечающими за зрение, шире в левом.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1861
Брока описывает речевой центр левой лобной доли

1868
Джон Хьюлингз Джексон описывает дефекты пространственных навыков у пациентов с повреждениями правого полушария

1874
Карл Вернике описывает речевой центр левой височной доли

1884
Описана асимметрия сильвиевой борозды

Миф о лево/правополушарном человеке

Часто говорят, что левое полушарие мозга — логическое и аналитическое, а правое — творческое и художественное и что некоторые закономерности мышления и поведения можно развить в себе, поддерживая деятельность одного или другого полушария.

Миф о лево/правополушарных людях произрастает из исследований пациентов с рассеченным мозолистым телом, которые производились в 1960-х годах; эти исследования подтвердили более ранние наблюдения, что речевые функции в основном осуществляются левым полушарием, а некоторые способности восприятия и пространственные навыки — правым.

Функциональные асимметрии мозга уже почти никто и не оспаривает, но в действительности мозг работает как единое целое, и значительная часть нашего поведения скоординированно задействует оба полушария. Миф о лево/правополушарном человеке тем не менее привлекателен: его частенько эксплуатирует рынок, стараясь предложить продукт или услугу, обещающие, например, подпитать творческий потенциал правого полушария.

Анатомические различия между двумя полушариями отчетливо заметны еще до рождения. У большинства правшей, например, сильвиева, или боковая, борозда – глубокая щель, отделяющая височную от лобной и теменной долей, – в левом полушарии длиннее, чем в правом, и пролегает чуть более полого. Различие между сильвиевыми бороздами и прилегающими к ним областями левого и правого полушарий заметили одними из первых; эти области, возможно, связаны с функциями языка и речи, которые по преимуществу – но не исключительно – размещаются в левой височной и лобной долях. Некоторые исследования отмечают, что в первый год жизни левое полушарие развивается медленнее правого, но постепенно догоняет, и это, похоже, связано с развитием речи у ребенка.

В основном исследования асимметрии мозга выявили отличия общего размера и структуры, однако наблюдается и анатомическая разница – на микроскопическом уровне. В коре клетки организованы упорядоченными, повторяющимися колонками, а клеточная организация тех или иных участков мозга в разных полушариях различна. К примеру, колонки в областях, связанных с языком и речью, в левом полушарии шире аналогичных

1968
Нейробиологи сообщают: височная площадка левого полушария у более чем двух третей людей больше по площади

1969
Роджер Сперри и Майкл Гадзанига (Газзанига) публикуют результаты первых экспериментов на пациентах с рассоединенными полушариями

1985
Арнольд Шибель с коллегами сообщает об асимметрии дендритов

участков в правом. Согласно одному исследованию дендриты клеток на этих участках в левом полушарии длиннее и ветвятся сильнее, чем у клеток в правом.

Нелобовое мышление Левое и правое полушария отличаются и по выполняемым функциям. Это явление называется латерализацией функций коры, и оно стало ясным за XIX век преимущественно благодаря исследованиям пациентов с поражениями мозга. В 1860–1870-х годах Пьер-Поль Брока и Карл Вернике изучали пациентов с дефектами речи: посмертный анализ состояния их мозга выявил поражения определенных участков левого полушария, которые таким образом увязали с функцией языка и речи.

Примерно тогда же британский невролог Джон Хьюлингз Джексон заметил, что повреждения правого полушария часто приводят к ограничению восприятия и пространственных навыков. Он описал пациента, парализованного на левую часть тела, у которого исчезла способность опознавать места, объекты и людей, включая его собственную жену. Другая пациентка совершенно перестала ориентироваться в пространстве, а когда она умерла, у нее в задней части правой височной доли обнаружили крупную опухоль. На основании этих наблюдений Джексон заключил, что речь, видимо, подконтрольна левому полушарию, а функции пространственной ориентации – правому.

Сравнительно недавние исследования пациентов с рассеченными полушариями подтвердили представление о латерализации функций мозга.

У этих пациентов – коих очень немного – перерезано мозолистое тело: бывает, это единственный способ контролировать устойчивую к лекарствам эпилепсию и не давать припадкам перекидываться с одного полушария на другое. Такие пациенты ведут в целом обычную жизнь, однако определенные особенности поведения в лабораторных тестах все же проявились. К примеру, они могут называть и описывать объекты, помещенные им в правую руку, но не в левую. Когда объекты находятся у них в левой руке, осязательная информация попадает в правое полушарие, но добраться до центров речи в левом не может.

> **«В голове есть два мозга... тот, что расположен в правой части, воспринимает, а тем, что в левой, мы понимаем»**
>
> Диокл Каристский, около 375 — около 295, древнегреческий врач

Загадочная асимметрия мозга Асимметрия мозга, язык и речь, а также право- и леворукость как-то друг с другом связаны, однако эта связь между ними сложна и очень плохо изучена. Функции речи сильно привязаны к левому полушарию у большинства (примерно 97%) правшей,

а также у 70% левшей. У меньшинства людей речь преимущественно управляется правым полушарием (или обоими). Соответственно, левое полушарие мозга иногда называют доминантным по отношению к правому.

> **«Довольно повредить хоть одно полушарие, и человек онемеет»**
>
> **Джон Хьюлингз Джексон (1835–1911), английский невролог**

Животные также демонстрируют асимметрию и лево/праворукость, но по какой именно причине мозг развился таким образом и почему центры речи обычно располагаются в левом полушарии — вполне себе загадка. Согласно одной теории это потому, что левое полушарие специализируется на выполнении сложных последовательностей движений, и речь — из этой категории. В эволюционных понятиях асимметрия мозга может быть преимуществом: она позволяет нам выполнять разные задачи в обоих полушариях параллельно, или одновременно.

В сухом остатке
Левое и правое полушария выполняют разные функции

11 Зеркальные нейроны

Зеркальные нейроны — клетки, срабатывающие и при выполнении определенных действий, и при наблюдении за такими действиями. Их соотнесли со многими поведенческими навыками и способностями — от эмпатии до обучения через имитацию, а также с расстройствами типа аутизма. Зеркальные нейроны впервые обнаружили у обезьян, но до сих пор неясно, существуют ли они в мозге человека.

Зеркальные нейроны экспериментально обнаружила в мозге макак группа итальянских исследователей в 1990-х годах. Ученые, исследовавшие, как мозг контролирует движения рук и рта, вживляли микроэлектроды в мозг обезьян, чтобы проследить за деятельностью отдельных клеток, когда животные тянулись к еде и клали ее в рот. Эксперименты показали, что активность определенных клеток возрастает именно в процессе этих действий.

Эти клетки расположены в премоторной коре, части мозга, связанной с планированием и выполнением движений, поэтому само по себе это открытие не было слишком уж неожиданным. Однако ученые — случайно — обнаружили, что некоторые такие клетки отзываются, хотя и менее выраженно, если животные даже просто смотрели, как им кладут в рот еду, и сильнее — при наблюдении, как еду кладут в рот другие обезьяны. Затем та же группа ученых выявила зеркальные нейроны в нескольких других областях мозга обезьян. Там нашлись клетки, отзывавшиеся и когда обезьяны наблюдали за некой деятельностью, а также когда просто слышали звуки, с этой деятельностью связанные.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1996
Джакомо Риццолатти с коллегами обнаруживают зеркальные нейроны в мозге обезьян

1999
Вилайянур С. Рамачандран и другие для объяснения аутизма выдвигают гипотезу разбитого зеркала

2002
Риццолатти с коллегами определяют аудиовизуальные зеркальные нейроны у обезьян

Но что же все это означает? Точная роль системы зеркальных нейронов у обезьян до сих пор неясна, однако исследователи, открывшие ее, считают, что они выполняют две функции. Во-первых, зеркальные нейроны связаны с пониманием действий других особей: наблюдение за действием вызывает в системе зеркальных нейронов генерирование воплощения этого действия. Иными словами, система зеркальных нейронов преобразует зрительную информацию в понимание намерения другого существа к действию, т. е. такая реакция соотносится с активностью, провоцируемой самим действием. Вторая предложенная функция – имитация, т. е. обучение действию наблюдением за теми, кто это действие выполняет.

Отбрасывая длинное отражение Открытие зеркальных нейронов встретили немалым воодушевлением, а некоторые даже сочли его одним из важнейших открытий современной нейробиологии. Поскольку эти нейроны обнаружили в мозге обезьян, исследователи рассудили, что они могут обнаружиться и в человеческом мозге.

Как и у обезьян, у человека зеркальные нейроны предположительно играют важную роль в имитации и понимании действий других людей. Некоторые исследователи считают, что эти нейроны необходимы для социальных взаимодействий во многих их аспектах, в том числе для понимания чужих намерений и распознавания умонастроений других людей по их поведению (эту способность называют теорией сознания, или моделью психического состояния человека); для эмпатии, или представления себя «в чужой шкуре»; для самосознания; для эволюции языка и способности ему учиться.

С учетом их предполагаемой роли в социальном восприятии один видный нейробиолог предположил: поврежденная система зеркальных нейронов есть причина аутизма, расстройства развития мозга, характеризующегося в первую очередь ослабленным навыком социального взаимодействия и коммуникации (*см. вставку на стр. 46*).

Тот же исследователь считает, что открытие зеркальных нейронов – «важнейшая “неизложенная” история десятилетия», и даже отозвался об этих клетках как о «нейронах, сформировавших цивилизацию», потому что мировая культура связана с передачей сложных навыков и знаний от человека к человеку.

2008

Ричард Муни и его группа обнаруживают зеркальные нейроны в мозге певчих воробьиных

2009

Альфонсо Карамацца терпит неудачу в попытке доказать существование адаптации зеркальных нейронов

2010

Марко Якобони и Ицхак Фрид приводят первое прямое доказательство существования зеркальных нейронов у человека

Гипотеза разбитого зеркала

В конце 1990-х годов две группы исследователей независимо друг от друга выдвинули так называемую гипотезу разбитого зеркала; она предполагает, что слабость социальных способностей, характерная для аутизма, вызвана расстройствами системы зеркальных нейронов. Гипотеза разбитого зеркала привлекла пристальное внимание СМИ, однако подверглась суровой критике со стороны многих исследователей аутизма. Она основана на допущении, что зеркальные нейроны связаны с пониманием действия, имитацией его и приобретением языковых навыков и что люди с аутизмом не чувствительны к эмоциям и намерениям других людей. Критики утверждают: первое допущение ошибочно, а также имеются доказательства как раз повышенной чувствительности людей с аутизмом к чужим эмоциям и намерениям. Более того, гипотеза разбитого зеркала не пытается объяснить, какие именно дефекты могут возникать в системе зеркальных нейронов и отчего.

Так есть ли у нас зеркальные нейроны? Зеркальные нейроны, как выяснилось, штука страшно противоречивая. Немногочисленные результаты сканирования мозга показывают, что некоторые области мозга активируются и во время исполнения действия, и при наблюдении за ним, и из этого проистекает предположение, что эти области и есть зеркальная система человека. Однако из сотен других исследований, пытающихся объяснить полученные результаты зеркальными нейронами, лишь очень немногие демонстрируют серьезные доказательства.

Таким образом, пока прямых убедительных аргументов в пользу существования зеркальных нейронов в мозге человека не получено. Более того, некоторые исследователи не смогли найти подтверждения самого существования зеркальных нейронов человека. Например, в 2009 году гарвардские исследователи обратились к явлению под названием «адаптация»: активность нейронов при отклике на одни и те же повторяющиеся стимулы угасает. Исследователи показали участникам эксперимента видеофрагмент, в котором демонстрировались жесты руками, и попросили их повторить увиденные действия.

Сканирование мозга участников эксперимента показало, что клетки адаптировались, когда участники сначала наблюдали жесты, а затем имитировали, но не в том случае, когда сначала имитировали, а затем наблюдали.

Основная трудность состоит в том, что ученые редко имеют возможность обозреть работающий человеческий мозг впрямую. Однако в 2010 году одна исследовательская группа, получившая такую возможность, изучив мозг пациентов-эпилептиков, находившихся в сознании перед нейрохирургической процедурой, заявила, что располагает первыми прямыми доказательствами существования зеркальных нейронов у человека. Некоторые клетки срабатывали и когда пациенты выполняли определенное действие, и когда наблюдали за его выполнением, однако активность почти стольких же клеток во время выполнения и наблюдения уменьшилась, что привело к сомнениям, действительно ли это зеркальные нейроны. Более того, эти клетки обнаружились в гиппокампе — области, связанной с формированием памяти, а не в предполагаемой системе зеркальных нейронов, как представлялось прежде.

«Предрекаю зеркальным нейронам в психологии ту же роль, что сыграла ДНК в биологии»

Вилайянур Субраманьян Рамачандран (р. 1951), американский нейробиолог

Исследователи, первыми открывшие зеркальные нейроны в мозге обезьян, недавно уточнили свои заявления и теперь предполагают, что у этих клеток гораздо более ограниченные функции, чем думалось изначально. Не пониманием действий других людей эти клетки заняты, а помогают нам постичь «изнутри» действия, которые мы уже умеем выполнять. Критики считают, что такая гипотеза подтверждает альтернативную теорию: зеркальные нейроны связаны с выбором действий и управлением ими.

В сухом остатке

Клетки мозга, «отражающие» действия других

12 Коннектом

Мозг состоит из миллиардов клеток, организованных в сложные сети, и современные нейробиологи заняты составлением человеческого коннектома — подробной карты всех синаптических связей. Такая карта, безусловно, окажется полезной, однако все равно не объяснит нам всего, что нам хотелось бы знать о работе мозга.

Мозг содержит около 90 миллиардов нейронов и по габаритам примерно близок к двум сжатым кулакам, но важен не суммарный его размер и не сами клетки. Связи между нейронами — вот что значимо. Головной мозг состоит из огромного количества специализированных областей, связанных толстыми пучками нервных волокон, именуемых трактами белого вещества, а нейроны внутри каждой области формируют высокоточные синаптические связи друг с другом.

Становится все бесспорнее: для лучшего понимания мозга нам потребуется подробное знание о связях внутри различных частей мозга и между ними; необходимо также помнить, что функции отдельных нейронов в значительной мере определяются связями, которые они образуют с другими клетками. Ныне общепринято, к примеру, считать, что формирование памяти связано с усилением синапсов внутри сети нейронов и что заболевания типа инсульта могут быть разрушительны не только потому, что убивают клетки, но и потому, что прерываются протяженные нейронные связи.

В 2009 году Американский государственный институт здоровья запустил проект «Коннектом человека». Эта пятилетняя программа стоимостью в миллионы долларов аналогична «Геному человека», ее цель — сконструировать подробную карту связей в здоровом

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1931
Макс Кнолль и Эрнст Руска изобретают электронный микроскоп

1985
Первое применение диффузионно-тензорной визуализации

1986
Публикация работы о системе синаптических связей червя-нематоды

2005
Олав Спорнс и Патрик Хангманн предлагают термин «коннектом»

человеческом мозге. Замах немалый: мозг содержит примерно квадриллион синапсов. Тем не менее сотни занятых в проекте исследователей имеют в своем распоряжении множество методик, которые призваны помочь им составить карту мозга различных биологических видов, в разных масштабах.

«Вы есть ваш коннектом»

Себастиан Синг, **корейско-американский компьютерный нейробиолог (2011)**

Рано или поздно, когда соберется достаточно данных, их можно будет объединить и составить карту, содержащую информацию начиная с клеточного уровня и до масштабов глобальных связей. Исследователи считают, что такая карта не только существенно повлияет на наше понимание мозга, но и поможет в исследованиях неврологических недугов типа болезни Альцгеймера, аутизма и шизофрении.

Орудия мозговиков Исследователи нейронных связей применяют самые разнообразные методы.

Электронная микроскопия. Электронный микроскоп испускает на специальным образом подготовленные препараты мозговой ткани поток электронов и может увеличивать образец в 10 миллионов раз и открывать взорам исследователей мельчайшие подробности живой ткани. Этим методом в 1950-х годах ученые добыли первые изображения синапсов, а в 1980-х с его помощью составили первый полный коннектом — червя-нематоды *Caenorhabditis elegans* (*см. стр. 50*).

Маркировка флуоресцентными красителями. К препаратам мозговой ткани можно применять кристаллы флуоресцентных красителей. Эти красители липофильны («любят жиры») и поэтому связываются с жировым слоем мембран нервных клеток и, если оставить препарат на несколько дней, краситель перемещается вдоль нервных волокон. Затем препарат можно рассмотреть под микроскопом и выяснить путь пролегания нервного волокна в ткани. Эту методику часто применяют для выяснения нервных связей у животных, однако ее можно задействовать и при изучении мозга умерших людей.

Диффузионно-тензорная визуализация. ДТВ — разновидность МРТ (магнитно-резонансной томографии), которая регистрирует движение молекул воды вдоль нервных волокон в живом человеческом мозге. Она применима для визуализации нервных путей белого вещества, формирующих протяженные связи между областями мозга.

2007
Джефф Лихтмен и Джош Сэйнз разрабатывают метод «Брейнбоу»

2008
Эд Кэллэуэй с коллегами применяют модифицированный вирус бешенства при отслеживании синаптических связей

2009
Запуск проекта «Коннектом человека»

А червь и ныне там

Caenorhabditis elegans — круглый червь всего 1 мм в длину и с нервной системой из 304 нейронов. Исследователи занялись составлением его коннектома в 1970-х годах: они шинковали червя на сотни кусочков и при помощи электронного микроскопа визуализировали каждый срез, после чего собрали все полученные образы воедино и создали карту всех 5 000 связей в нервной системе подопытного. Процесс занял более десяти лет, и вот в 1986 году коннектом наконец обнародовали. Многим подумалось, что карта коннектома *C. elegans* приведет к громадному скачку в нашем понимании нервной системы этого крошечного существа, но увы. Даже почти через 30 лет после той публикации мы по-прежнему не знаем, как нервная система *C. elegans* — очень простая по сравнению с нашей — формирует поведение этого червя.

Генетические методы. Два недавно разработанных метода позволяют исследователям визуализировать нейронные сети и синаптические связи с беспрецедентной точностью. Ученые из Калифорнии, применив генную инженерию, создали модифицированный вирус бешенства, производящий флуоресцирующий белок. Если ввести его в нейрон, он пробегает по синапсам и «высвечивает» все клетки, с которыми образует связи.

Еще один генетический метод, получивший название «Брейнбоу»*, разработали ученые Гарвардского университета. Они вырастили лабораторных мышей с измененным геномом – в их клетках содержится набор генов, кодирующий пять-шесть флуоресцентных белков разных цветов.

* Слово-портмоне: *brain* (мозг) + *rainbow* (радуга), *англ.*

Гены организованы так, что каждый нейрон синтезирует случайную комбинацию двух или трех флуоресцентных белков, в результате чего получается палитра из примерно 100 разных оттенков. После чего можно рассечь мозг и изучить под микроскопом флуоресцентно маркированные нейроны.

Великое неизведанное Хотя методов детального анализа связей человеческого мозга у нас по-прежнему нет, в будущем развитие техники позволит нам составить подробную карту мозга. А пока мы можем многое узнать от мышей и обезьян – их мозги похожи по устройству на наши. Нет сомнений, что человеческий коннектом прольет свет на работу мозга, однако даже по коннектому нематоды ученые уже понимают: у этого знания есть ограничения.

Понятие коннектома никак не учитывает роль генов и то, как их взаимосвязь с окружающей средой влияет на наше поведение. Оно никак не учитывает и влияния глиальных клеток, особенно астроцитов, имеющих важнейшее значение для функционирования мозга. Еще одно существенное ограничение: хотя мозг всех людей имеет одно и то же базовое устройство, у разных людей замечены существенные структурные вариации. Поэтому нет и не может быть «типичного» мозга. А значит, исследователям предстоит составить коннектомы как можно большего количества разных мозгов — и лишь тогда они получат подобие обобщенной карты человеческого мозга. Более того, мозг — устройство чрезвычайно динамичное, а связи в нем постоянно меняются. Статическая карта связей никак не сможет учесть этих изменений, и для того, чтобы установить, как со временем меняются нейронные связи, возможно, понадобится составить множество коннектомов отдельных людей.

В сухом остатке
Полная монтажная электросхема мозга

13 Воплощенное мышление

Мозг традиционно считается главным управляющим устройством организма — он производит мысли и действия, превращая абстрактные представления о мире в команды, адресованные телу. Согласно новой теории, однако, мысли и поступки производятся не только мозгом: они — результат динамического взаимодействия между мозгом, телом и окружающей средой.

Мозг обыкновенно считают органом, контролирующим поведение путем усвоения воспринятого извне и преобразования его в умственные образы, которые затем направляют мысли и действия. Иными словами, мозг задействован в переработке абстрактной информации, и наше знание о мире оседает в системах памяти, существующих отдельно от действий и восприятия.

Гипотеза воплощенного мышления — радикальное новое представление, отвергающее традиционный взгляд на мозг. В рамках этой гипотезы мозг есть компонент более развернутой системы, включающей в себя тело и окружающую среду, причем и то и другое — важнейшие факторы формирования наших мыслей, эмоций и поведения. Получается, что наши ментальные образы «воплощены», или коренятся, в физическом состоянии тела и его взаимоотношениях с окружающей средой. С этой стороны они тесно связаны с сенсорной и двигательной системами мозга.

Идея воплощенного мышления зародилась в европейской философии. Иммануил Кант считал, что мозг отделен от тела, однако эти две составляющие человека тесно связаны; также он полагал, что наша способность думать зависит от особенностей нашего тела.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1755
Иммануил Кант пишет «Всемирную естественную историю»

1927
Мартин Хайдеггер пишет «Бытие и время»

1980
Издание книги «Метафоры, по которым мы живем» Джорджа Лакоффа и Марка Джонсона

1998
Энди Кларк и Дэйвид Чэлмерз выдвигают гипотезу расширенного ума

По Канту, движения необходимы телу для мышления, вспоминания и увязывания мысленных образов. Почти два века спустя Мартин Хайдеггер выдвигал идею о том, что мы переживаем мир, взаимодействуя с ним, а мышление включает в себя практическое применение предметов. Аналогично и Морис Мерло-Понти считал, что тело не просто объект восприятия, но и неотъемлемая его часть.

Метафорическое укоренение Первые теоретики воплощенного мышления особое внимание уделяли влиянию тела на мыслительные процессы. Они считали, что язык близко связан с восприятием тела, а применяемые нами метафоры соответствуют нашему телесному восприятию.

Так, наш опыт укоренен в метафорических образах, которые в свою очередь основываются на том, как мы пользуемся своими телами при взаимодействии с внешним миром. Похожим образом мы часто выражаем эмоции в понятиях движения или положения в пространстве. Положительные эмоции всегда ассоциируются с движением вверх (мы говорим «воспрянул духом» или «на верху блаженства»), тогда как отрицательные мысли связываются с движением вниз («как в воду опущенный», «упал духом»).

Расширение сознания

Гипотеза расширенного ума — доведенное до предела представление о воплощенном мышлении, современная философская концепция, попросту задающаяся вопросом: «Где кончается ум и начинается остальной мир?» Как следует из названия, гипотеза расширенного ума предлагает не ограничивать ум и мыслительные процессы, с ним связанные, мозгом, а расширить их границы вплоть до включения некоторых элементов внешнего мира.

Поборники этой теории считают, что люди устанавливают тесные связи с внешними объектами и тем самым создают более широкие мыслительные системы. Компьютеры и интернет — характернейшие примеры таких внешних компонентов ума, применяемых на практике, среди многих других, для уменьшения нагрузки памяти на мозг. Недавние исследования показывают, что люди менее склонны запоминать ту или иную информацию, если она доступна онлайн. Иными словами, Сеть — своего рода жесткий диск, применяемый нами для хранения информации.

2005
Джессика Уитт с коллегами берутся изучать, как качество игры влияет на восприятие спортсмена

2006
Торстен Хансен и его группа показывают, что воспоминания о цвете объекта влияют на цветовое восприятие

2011
Дэниэл Уэгнер с коллегами публикуют результаты исследования влияния «Гугла» на память

Многочисленные исследования поддерживают эту точку зрения: показывают, что состояния тела вполне могут сильно влиять или даже впрямую провоцировать те или иные состояния ума. К примеру, люди рядом с вами могут казаться вам дружелюбнее, если у вас в руках чашка горячего кофе, а не холодного; вы с большей вероятностью пойдете мыть руки, подумав о каких-нибудь грязных делишках, нежели о чем-нибудь хорошем; тяжелая по весу книга покажется вам важнее легкой. Такие исследования показывают важность воплощенной метафорической мысли: симпатия есть тепло, безнравственность есть грязь, а нравственность, напротив, чистота, значимые предметы «весомы».

Однако, согласно некоторым исследованиям, подобные эксперименты лишь верхушка айсберга, и они не демонстрируют «настоящее» воплощенное мышление. Они показывают, что поведение возникает из динамического взаимодействия мозга с телом, но также и с внешней средой. Такой подход обращает внимание на важность наших действий и восприятия, наряду с процессом симуляции, или воспроизведением действий и восприятия. То есть далекие от абстракций ментальные образы ума тесно связаны с событиями в нашей жизни и зависят от них.

«Тело... служит для запечатления понятий о внешних предметах... и для вспоминания и соединения их внутри... Для мышления это необходимо»

Иммануил Кант (1755)

Действие, восприятие, симуляция

Различные психологические исследования показывают, что наши действия и их последствия влияют на наше восприятие, а процесс симуляции играет в этом ключевую роль. Воспринятый объект хранится в нашей зрительной памяти. Сталкиваясь в дальнейшем с похожими объектами, мы переживаем возвращение этих воспоминаний и симулирование прежнего опыта, и это симулирование может вмешиваться в наше текущее восприятие.

К примеру, посмотрев сначала на цветное изображение банана, а потом сразу — на черно-белое, мы заметим, что наше восприятие сдвинуто к естественному цвету этого объекта: второе изображение покажется нам желтоватым.

Действие и восприятие хорошо согласованы между собой — и объединены симуляцией. Когда мы видим объект, мозг готовится применить полученную информацию, включив подходящую симуляцию возможных действий. Вид чашки активирует симуляцию округлого хватательного движения, молотка — более плотного сжатия рукой, а винограда — захвата очень

точного. Эти симуляции зависят от положения предмета относительно тела: если предмет расположен удобно, симуляция упрощается, а если нет — затрудняется, а сам предмет при этом кажется дальше, чем на самом деле. Симуляция также мешает совершать не связанные с ней движения — в течение доли секунды после восприятия предмета.

«В основе мышления лежат состояния и действия тела»

Лоренс Барзалу (р. 1951), американский ученый-когнитивист

Последствия наших действий тоже влияют на наше восприятие. Спортсмены, оказавшись в полосе везения, часто утверждают, что мишени им кажутся массивнее, чем в действительности, и исследования это подтверждают. Гольфисты и студенты, играющие в американский футбол, воспринимают размеры лунки или цель, в которую бросают мяч, крупнее, если игра у них задается, и от этого удачных бросков прибавляется. Верно и обратное: когда игра идет плохо, мишень спортсменам кажется меньше реальной, и от этого — менее доступной. Наше восприятие задачи зависит еще и от того, сколько усилий мы вкладываем в ее решение. Место выше по склону видится дальше, чем на самом деле, а сам холм — круче, чем в действительности, если мы тащим что-нибудь тяжелое.

В сухом остатке

Ум — продукт мозга, тела и взаимодействий с внешним миром

14 Осознание тела

Кто я и как стал тем, кем стал? Самоопределение есть сложное явление, включающее многие компоненты: личность, память, сексуальную и национальную принадлежность. А в глубине человеческой самости лежит то, что большинство из нас считает само собой разумеющимся: тело и наше осознание его.

Философы-экзистенциалисты – Фридрих Ницше и Морис Мерло-Понти, например, – были уверены: то, что мы называем «собой», тесно связано с телом, и нейробиология наконец взялась наверстывать упущенное. Современные исследования уже слегка докопались до нейробиологического основания телесной осознанности и хотя бы отчасти сумели показать, что такая осознанность тела есть ключевой компонент самоопределения.

Изучение телесной осознанности началось более ста лет назад – с работы британских неврологов Хенри Хеда и Гордона Хоумза. Они обследовали десятки пациентов с трудностями осознания тела, возникшими в результате повреждения правой теменной доли, и заключили, что эта часть мозга хранит динамический образ тела, или модель самости, которую они назвали «схемой тела».

Современные изыскания показали, что мозг действительно кодирует множество образов тела и что телесная осознанность состоит из двух связанных, но самостоятельных компонентов. Каждый из них может быть по отдельности подвергнут искажению или манипуляции, и оба они совершенно необходимы для самосознания.

Присвоение тела Наше обыденное переживание самих себя – внутри тела, и мы признаем свое тело как свою собственность. Так происходит потому, что мозг отличает, что есть часть нашей самости,

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1910
Хед и Хоумз формулируют понятие схемы тела

1946
Выходит в свет «Феноменология восприятия» Мерло-Понти

1998
Мэтью Ботвиник и Джонатан Коэн описывают иллюзию резиновой руки

а что — нет, из чего произрастает наше присвоение тела, а это один из компонентов телесной осознанности. Но иногда это присвоение теряет однозначность: например, в результате внетелесных переживаний (когда «я» будто покидает на время физическое тело) или в результате недуга под названием «соматопарафрения» (пациенты с этим заболеванием утверждают, что та или иная часть тела им не принадлежит), а также при расстройстве телесной целостности личности — остром желании избавиться от той или иной вполне здоровой части тела.

Однако искажения чувства обладания телом не сводятся к психиатрическим заболеваниям, они случаются и в повседневной жизни. Хед и Хоумз предположили, что «все, участвующее в осознанном движении тела, добавляется к нашей модели себя» и что схема тела женщины «может распространяться и на перо у нее на шляпке». В наши дни известно, что, например, компьютерная мышь или любой иной инструмент, которыми мы пользуемся, интегрируется в образ тела. Иными словами, мозг после продолжительного применения человеком сторонних предметов начинает относиться к ним как к части самости. Это объясняет, как слепым удается «чувствовать» тростью. И вот что необходимо отметить: эта особенность ума в конце концов приведет нас к новому поколению искусственных органов, которые мозг признает частью тела.

Входя в то, что я называю собой, я всегда натыкаюсь на то или иное восприятие… Никогда и никак не удается мне застать себя без восприятия

Дэйвид Хьюм (1711–1776), шотландский философ, историк, экономист

Власть над телом и свобода воли Еще один компонент осознания тела — власть над ним, т. е. ощущение, что мы контролируем свое тело и отвечаем за его действия. Эта власть зависит от так называемых опережающих моделей, производимых мозгом: они предсказывают последствия любых наших действий.

Решая включить свет, к примеру, ваш мозг предвидит, как вы потянетесь к выключателю на стене, сдвинете его, потом услышите щелчок и увидите освещенную комнату. Затем мозг сравнивает эти предсказания с тем, что происходит на самом деле, и близкое сходство модели и действительности дает нам ощущение контроля тела.

2002
Патрик Хэггард исследует механизмы власти над телом

2006
Дэйвид Иглмен экспериментирует с властью над телом

2008
Хенрик Эрссон и Валерия Петкова описывают иллюзию обмена телами

Верить ли глазам своим?

Простые манипуляции с поступающими в мозг чувственными данными порождают иллюзии, искажающие образ тела и чувство самости. Иллюзия возникает, к примеру, при одновременном касании резиновой руки и настоящей одним и тем же способом, если при этом испытуемому показывают резиновую руку*. Это создает нестыковку в ощущениях, в результате чего мозг обманывается и думает, что резиновая рука — это часть тела, и доказывает, что зрение — важнейшее для присвоения тела ощущение.

Иллюзия обмена телами основана на тех же принципах. Два человека стоят друг напротив друга, на головах у них — шлемы с экранами, в которые встроена камера. Камера транслирует изображение одного человека на экран другого и наоборот, т. е. оба они видят собственное тело глазами третьего лица, размещенного в той же точке, что и другой человек. Если одновременно прикоснуться к обоим, они воспримут это ощущение как возникшее в чужом теле.

* Полное описание эксперимента: добровольца усаживают за стол, где лежит правая или левая резиновая рука, при этом соответствующую руку участника эксперимента прячут за ширмой или под столом. Экспериментатор двумя кисточками начинает одновременно касаться резиновой руки и руки добровольца, в результате чего спустя две-три минуты примерно у двух третей подопытных возникает стойкое ощущение того, что резиновая рука принадлежит им. Именно на нее они указывают с закрытыми глазами, когда об этом добровольцев спрашивает экспериментатор. — *Прим. науч. ред.*

Исследования механизмов, лежащих в основе этих процессов, указывают на то, что мозг активно искажает восприятие времени для поддержания чувства власти над телом – чтобы нам казалось, будто мы управляем им. Судя по некоторым экспериментам, произвольные движения воспринимаются как происходящие раньше, чем в реальности, и, таким образом, намерение к действию и его последствия воспринимаются как одновременные.

В ходе других исследований обнаружили, что мозг обращает порядок действий: результат воспринимается на долю секунды быстрее, чем движение, которое его породило. Между происходящим и точкой нашего восприятия этого события во времени есть отсрочка в 80 миллисекунд – столько времени требуется мозгу, чтобы усвоить информацию. Исследования показывают: мозг калибрует последовательность событий, чтобы они совпали с нашими ожиданиями.

Ощущение власти над телом важно, потому что ведет к сознательному переживанию свободы воли, а также поддерживает чувство присвоения тела – подтверждением, что рука, производящая действие, принадлежит вам. При некоторых расстройствах, однако, ощущение власти над телом

поколеблено: при синдроме чужой руки, редком психиатрическом заболевании, пациенты сообщают, что не контролируют действия одной из двух своих верхних конечностей (*см. стр. 62*); при шизофрении пациенты часто приписывают свои мысли и действия силам, контролирующим их извне.

Видим себя Телесная осознанность возникает благодаря мультисенсорной интеграции; на практике это означает, что мозг соединяет три разных вида чувственных данных, получаемых от тела: зрительную, осязательную и проприоцептивную, или мышечную, информацию (связанную с положением частей тела в пространстве). Зрительная информация перерабатывается в затылочной доле, а осязательная и проприоцептивная — в соматосенсорной коре. Затем все три объединяются в верхней теменной дольке, и там создается динамический образ тела, который ныне именуют схемой тела или образом тела.

«Я — тело, только тело, и ничто больше; а душа есть только слово для чего-то в теле»*

Фридрих Ницше (1844–1900), немецкий мыслитель, философ, композитор

Этот образ являет себя как умозрительное изображение тела, и тело свое мы воспринимаем посредством этой картинки. Расстройства осознания тела могут изменить образ тела в мозге, а это, в свою очередь, фундаментально меняет и ощущение самости у человека. К примеру, расхождения между образом тела и физической его формой может вызывать когнитивный диссонанс (конфликт мыслей и чувств, приводящий к психологическому страданию) или приводить, скажем, к анорексии, дисморфофобии** или транссексуальности.

* Из книги «Так говорил Заратустра» (1883–1885), цит. по пер. Ю. М. Антоновского.

** Дисморфофобия (дисморфия) — психическое расстройство, при котором человек чрезмерно обеспокоен и занят незначительным дефектом или особенностью своего тела.

В сухом остатке
Осознание тела необходимо для чувства самости

15 Свободная воля

Свободная воля — ключевая часть нашего представления о том, что значит быть человеком, и предмет размышлений философов многих столетий. Мы все хотим верить, что располагаем свободой воли, властвуем над своими действиями и решениями, однако исследования мозга подсказывают, что это, быть может, лишь иллюзия.

Спор, которому не одно столетие, разделил философов на два лагеря. Поборники свободы воли — Рене Декарт, например, — считали, что мы суть разумные лица, выбирающие свои действия, в то время как детерминисты вроде Джона Лока, доказывали, что наш выбор ограничен физическими силами, правящими нашими телами. Примерно 30 лет назад к этому спору присоединились нейробиологи — следом за изданием исследования, выдвинувшего соображение, что совершаемые нами выборы — результат бессознательных процессов в мозге. Хотя это можно было бы интерпретировать как отсутствие у нас свободной воли, не все нейробиологи разделяют эту точку зрения.

Свободная неволя? Ранние свидетельства против свободы воли относятся к классическому исследованию 1983 года, в котором измерялась мозговая деятельность, связанная с контролируемыми движениями руки. В сравнительно простом эксперименте исследователи попросили участников двигать пальцами, когда захочется. Также участникам велели смотреть на пустой циферблат часов с бегущей по кругу точкой и замечать положение этой точки в момент осознания желания дернуть пальцем.

Для записи мозговой деятельности исследователи применили электроэнцефалографию (ЭЭГ) и регистрировали сигнал, именуемый «потенциалом готовности», рождающийся в дополнительной

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1689 Джон Лок выдвигает аргументы против наличия у человека свободной воли

1964 Ханс Корнхубер и Людер Дике определяют потенциал готовности

1983 Бенджамин Либет с коллегами показывают: потенциал готовности предваряет осознание намерения двигаться

двигательной области — части лобной коры, занятой планированием движений. К своему удивлению, ученые засекали сигнал примерно за треть секунды до того, как участники сообщали, что осознали намерение двинуть пальцем.

Другие исследовательские группы получили сходные результаты и с применением более современных методик. В 2008 году лондонские ученые применили функциональную магнитно-резонансную томографию (фМРТ) для сканирования мозга участников эксперимента, когда те решали, какую из двух кнопок им нажать левым или правым указательным пальцем. Одновременно участникам на маленьком экране внутри томографа показывали последовательность букв, и испытуемых попросили замечать, какая буква мелькнула на экране в момент принятия решения, на какую кнопку жать. Исследователи выяснили, что двигательная кора могла предсказать с точностью до 60%, на какую из двух кнопок нажмет испытуемый, даже за 10 секунд до осознания намерения действовать.

«Человек не волен решать или не решать что бы то ни было, что в его силах»

Джон Лок (1632–1704), английский мыслитель, философ, просветитель

Исходные результаты были вновь доказаны еще раз, совсем недавно, командой американских нейрохирургов, применявших электроды для непосредственной записи сигналов нейронов мозга эпилептических больных, выполнявших движения пальцами. Врачи обнаружили, что отдельные клетки двигательной коры активизировались почти за полторы секунды до того, как пациент сообщал о своем намерении совершить движение.

Некоторые исследования в этой области показывают, что деятельность лобной коры выражена сильнее, когда люди собираются произвести действие, а затем намеренно не дают себе его сделать, нежели при подготовке к действию и его осуществлении. На основании этой «силы вето» некоторые ученые предположили, что правильнее было бы назвать свободную волю «свободной неволей».

Вы готовы? Исходные открытия оказались крайне противоречивыми и со времен публикации и до сего времени все еще обсуждаются. Результаты первого эксперимента и последующих, казалось, продемонстрировали, что

2007
Патрик Хаггард с коллегами открывают «силу вето»

2008
Исследователи предсказывают выбор человека по активности его мозга за 10 секунд до совершения действия

2010
Исследования показывают: потенциал готовности можно засечь независимо от того, какое именно принято решение

2011
Нейрохирурги выявляют двигательные нейроны коры, активизирующиеся почти за 1,5 секунды до воли к действию

мозг подготавливает наши действия до того, как мы принимаем осознанное решение их осуществить. Иными словами, наши действия и решения определяются механизмами мозга, которых мы не осознаем. Это впрямую противоречит классическим представлениям о свободной воле, согласно которым мы вольны выбирать свои действия.

То первое исследование встретило и обильную критику. Главная неувязка: оно полагалось на восприятие участниками времени и их субъективные сообщения о времени событий. Все события эксперимента происходят в долю секунды, что делает точное указание точки их возникновения во времени чрезвычайно затруднительным. Все становится еще сложнее с учетом обработки мозгом времени: на интерпретацию визуальной информации мозгу требуется доля секунды и столько же — на производство двигательного отклика. Эти временные промежутки столь малы, что в повседневной жизни процессы, протекающие с такой скоростью, воспринимаются как одномоментные, однако в таких экспериментах от этого существенно зависят получаемые результаты.

Есть и другая загвоздка: не вполне понятно, что есть потенциал готовности. До недавнего времени его считали маркером нейронной активности планирования, подготовки и инициации произвольного движения, постепенным нарастанием нейронной активности, возникающей в премоторной

Синдром чужой руки

В классической «черной комедии» Стэнли Кубрика «Доктор Стрэйнджлав» (1964) у главного героя в исполнении Питера Селлерза правая рука действует по собственному произволу. Временами она хватает его за горло, и, чтобы подчинить ее, ему приходится привлекать другую руку, а в знаменитой финальной сцене она вскидывается в нацистском приветствии. Это художественное воплощение синдрома чужой руки, нервно-психического расстройства, при котором рука пациента словно обретает самостоятельное мышление и не подчиняется контролю.

Синдром чужой руки зафиксировали у пациентов с рассеченным мозолистым телом (*см. стр. 41*), которым в целях облегчения припадков эпилепсии перерезали ткани, связывающие левое и правое полушария. Этот синдром может возникать и у перенесших инсульт или инфекционное заболевание, а также его связывают с повреждением дополнительной двигательной коры. В обычной жизни пациенты часто считают конечность, демонстрирующую симптомы этого расстройства, «непослушной», а то и одержимой некой внешней силой.

коре за секунды до осуществления действия. Однако некоторые исследования демонстрируют обратное. В одном ученые из Новой Зеландии применили ЭЭГ для сравнения мозговой деятельности, предшествующей решению начать движение, с деятельностью, предшествующей решению не двигаться. В обоих случаях они засекли одинаковый рисунок электрической активности, из чего следует, что потенциал готовности не есть состояние мозга, приготовившегося к движению.

Еще в одной работе по этой теме, опубликованной в 2012 году, есть альтернативное объяснение потенциала готовности. Известно, что решения, основанные на зрительной информации, связаны с накоплением входящих данных в самостоятельных нейронных сетях и что решение основано на данных той сети, которая демонстрирует наибольшую активность. Французские исследователи выдвинули гипотезу, что нечто подобное может происходить и при принятии решений о движениях. Ученые повторили исходный эксперимент, но теперь попросили участников ждать щелчка и действовать тут же, как только его услышат. Применив ЭЭГ для измерения мозговой активности во время выполнения задачи, ученые обнаружили, что участники с самой быстрой реакцией продемонстрировали и самый мощный потенциал готовности. Из этого следует, что потенциал готовности и решение двигаться связаны с нейронным шумом или спонтанной флуктуацией нейронной активности.

‘Мы чувствуем, будто делаем выбор, а на самом деле нет’

Патрик Хаггард, современный британский нейробиолог (2011)

Таким образом, согласно некоторым исследованиям мозга свободы воли у нас нет, но этот вывод ни в коей мере не заключительный, поскольку экспериментальные результаты по-прежнему открыты для толкования.

В сухом остатке

Свободная воля может оказаться иллюзией

16 Половые различия

Между мужским и женским мозгом существуют тонкие, но видимые отличия, однако неизвестно, как именно они влияют на разницу в поведении мужчин и женщин. Эти гендерные различия в мозге частенько преувеличивают, ими злоупотребляют; не только СМИ, но и сами ученые укрепляют стереотипы и поддерживают мифы.

Наука о половых различиях всегда была и остается исполненной противоречий. Некоторые считают, что разница в поведении мужчин и женщин в основном коренится в культуре, другие — что эта разница в основном определяется биологией. На самом же деле ситуация намного затейливее. Правда где-то посередине и включает в себя два связанных, но независимых фактора, которые часто путают друг с другом или смешивают.

Первый фактор — биологический пол, определяемый хромосомами. У большинства людей либо две X-хромосомы, что придает им женский пол, либо одна X- и одна Y-хромосома, и тогда получается человек мужского пола. Другой фактор — гендер, его в основном формирует процесс социализации. Пока растем, мы постигаем общественные нормы поведения и внешнего вида мужчин и женщин; у большинства людей пол и гендер совпадают, и они самопроизвольно подпадают под эти нормы.

Отличия между мозгом мужчины и женщины тонки и, вероятно, возникают, пока происходит внутриутробное развитие, благодаря действию половых гормонов, придающих и этому органу женские или мужские особенности. Однако мы все еще не понимаем ни как именно гормоны влияют на развивающийся мозг, ни как эти тонкие различия между мозгом мужчин и женщин соотносятся с их поведением.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1992

Саймон ЛеВэй обнародует различия между гипоталамусами гетеросексуальных и гомосексуальных мужчин

1997

Саймон Бэрон-Коэн выдвигает гипотезу предельно мужского ума

Битва полов?

Наиболее очевидное отличие мозга мужчины от мозга женщины – размеры: мужской мозг в среднем примерно на 10–15% крупнее женского. В одном недавнем исследовании нейробиологи сравнили мозг умерших 42 мужчин и 58 женщин и обнаружили, что средняя масса мозга мужчины – 1 378, а женщины – 1 248 граммов. Эта разница в массе, как выяснилось, постоянна, однако проявляется только при сравнении больших выборок: мозг некоторых женщин больше среднего, а некоторых мужчин – меньше. Эта разница отчасти отражает тот факт, что мужчины в целом крупнее и выше женщин, однако не говорит о разнице в умственном развитии.

Слагаемое недуга

Женщины вдвое более подвержены риску депрессии, чем мужчины. Вероятная причина — комбинация нескольких биологических факторов: дифференциальные воздействия на мозг половых гормонов, а также культурные факторы — половое неравноправие и тяготы совмещения рабочих и домашних дел. Недавнее исследование показало к тому же, что у женщин умственные способности при болезни Альцгеймера ухудшаются быстрее, чем у мужчин.

Мозг женщин и мужчин отличается и по общему устройству. Почти во всех областях коры мужского мозга чуть выше содержание белого вещества, а в женском – серого. Как следствие, кора женского мозга чуть толще, чем мужского и, согласно нескольким исследованиям, чуть более испещрена извилинами. Есть половые различия и в размерах отдельных мозговых структур. К примеру, гиппокамп, структура, связанная с формированием памяти, в среднем крупнее у мужчин, равно как и миндалевидное тело (амигдала), которое тоже участвует в процессах памяти, а также эмоций.

Еще одна характерная для того или другого пола особенность есть у структуры под названием «промежуточное (интерстициальное) ядро переднего отдела гипоталамуса».

Функция этой крошечной структуры неизвестна, однако исследования четырех независимых лабораторий неоднократно обнаруживали, что у мужчин она почти вдвое крупнее, чем у женщин. Эта структура также связана с сексуальной ориентацией и гендерным самоопределением: в одной научной работе сообщается, что это ядро более чем вдвое крупнее

2000
Исследования показывают: у женщин слушать звуки, транслируемые в оба уха одновременно, получается лучше

2008
Дик Свааб с коллегами сообщают о «половом обращении» гипоталамуса транссексуалов

2012
Исследователи сообщают: женщины с болезнью Альцгеймера угасают быстрее мужчин

Гипотеза предельно мужского ума

Люди с аутизмом, как правило, имеют низкие показатели в тестах на эмпатию, т. е. на способность ставить себя на чужое место, но зато им хорошо даются тесты на систематизацию, т. е. нахождение закономерностей. Сходным образом женщины зарабатывают больше очков по шкале эмпатии, а мужчины — систематизации. Это наблюдение привело ученых к крайне противоречивой гипотезе аутизма как предельно мужского ума. Гипотеза гласит, что аутизм есть предельная форма нормального мужского когнитивного профиля и возникает он в результате высокого уровня тестостерона в утробе матери. Следовательно, людей с аутизмом можно считать «гиперсистематизаторами», более сосредоточенными на закономерностях и мелких деталях, нежели на мыслях и действиях других людей. Гипотезой предельно мужского ума попытались объяснить, почему аутизм у мужчин возникает в четыре раза чаще, чем у женщин, и почему люди с аутизмом, бывает, добиваются успехов, например, в математике и инженерном деле.

у гетеросексуальных мужчин, чем у гомосексуальных, у которых оно больше похоже на женское; в другом исследовании обнаружили, что оно меньше по размерам у транссексуалов мужчина-в-женщину и крупнее — у транссексуалов женщина-в-мужчину. Эти исследования подвергли критике за недостаточную статистическую выборку, и данные подтверждения не получили.

Стереотипы и мифы Многочисленные исследования показывают, что между мужским и женским поведением и мыслительными функциями тоже существуют тонкие различия. Мужчины в целом более агрессивны и превосходят женщин в умственных задачах, связанных с пространственными навыками — например, в умозрительном вращении предметов, а женщины более склонны к сопереживанию и демонстрируют лучшие результаты запоминания устной речи и в лингвистических задачах. Такого рода выводы часто преувеличивают ради поддержания стереотипов: у женщин-де хуже получается парковаться задом и они обожают трепаться!

В некоторых случаях отдельные исследования, нацеленные на демонстрацию половых различий при выполнении определенных задач, приводят как аргумент совершенно не по делу. Например, согласно одной крошечной работе по результатам вскрытий, изданной в 1982 году, мозолистое тело, массивный пучок нервных волокон, связывающих полушария мозга, пропорционально больше у женщин, чем у мужчин. Об этом раструбили в том смысле, что женщины лучше выполняют несколько задач одновременно, хотя последующее исследование не смогло воспроизвести

полученных прежде результатов. Более свежее изучение этой структуры показало, что женщины чуть-чуть лучше мужчин распознают разные звуки, транслируемые им в оба уха одновременно, — но это в результате подали публике как доказательство того, что «мужчины не слушают».

Многие подобные заявления сопровождаются утверждением, что, дескать, эти различия между мозгом мужчин и женщин «вшиты» и, следовательно, неизменны. Ныне мы знаем, однако, что устройство и деятельность мозга меняются в ответ на переживаемый опыт, и поэтому любые наблюдаемые отличия между мозгом мужчин и женщин могли возникнуть из-за разницы воспитания и жизни в обществе. На сегодня, увы, влияние различных способов воспитания детей на развитие мозга изучено очень мало.

‘Сама по себе сложность мозга делает толкование и понимание значения каких бы то ни было обнаруженных нами половых различий крайне трудной задачей’

Корделиа Файн (р. 1975), британский психолог-теоретик, писатель

В сухом остатке

Мы не знаем, как различия между мужским и женским мозгом влияют на поведение

17 Личность

Личностью мы называем набор ментальных, эмоциональных и социальных характеристик, устойчивых во времени. Эти характеристики в большей степени, чем что угодно еще, определяют то, кем люди себя считают. Традиционно исследованиями личности занимались психологи. Однако в последние годы разбираться, как черты личности могут быть связаны с устройством и деятельностью мозга, взялись нейробиологи.

Изучение личности нацелено на выяснение, почему люди такие, какие они есть, и чем друг от друга отличаются. В прошлом эту работу оставляли психологам, в основном занятым описанием личности, а не объяснением ее, с применением различных тестов, призванных измерить яркость проявления тех или иных личностных черт. Однако в целом есть понимание, что все психологические процессы коренятся в мозге. Следовательно, личность должна определяться устройством и деятельностью мозга, но мы все еще понятия не имеем, как именно. Тем не менее кое-то из исследователей все-таки начал разбираться с биологической основой личности.

«Большая пятерка» черт За годы изучения было предпринято множество попыток классифицировать личность по типам в зависимости от различных ее качеств. Согласно одной влиятельной теории, разработанной Хансом Айзенком в середине XX века, личность состоит из двух главных измерений — экстраверсии и невротизма. Позднее Айзенк добавил третье измерение — психотизм. Современные психологи в целом согласны с существованием пяти ключевых черт личности.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1921

Карл Юнг популяризирует термины «экстраверсия» и «интроверсия»

1947

Издание книги Ханса Айзенка «Грани личности»

1985

Пол Коста и Роберт Маккрэ публикуют тест оценки «Большой пятерки» черт личности

Экстраверсия определяется как «деятельность, сосредоточенная и направленная в основном на получение поощрения извне», — в отличие от интроверсии, или «склонности сосредоточиваться целиком или в основном на собственной умственной жизни и проявлять интерес к ней». Экстраверты склонны к обществу других людей, к получению удовольствия от публичных событий, тогда как интроверты в целом тише и сдержаннее и предпочитают уединенную деятельность — например, чтение.

Невротизм проявляется как тревожность, переменчивость настроения, раздражительность. Люди с высокими показателями невротизма зачастую застенчивы и робки. Они крайне чувствительны к негативным эмоциям и могут воспринимать в целом нормальную ситуацию как угрожающую. Они также подвержены более высокому риску развития депрессии.

Добросовестность — черта, примерно эквивалентная силе воли, и проявляется в поведенческих качествах типа эффективности, аккуратности и обдуманности. Добросовестный человек обычно способен много и прилежно трудиться, на него можно полагаться; люди с низким показателем добросовестности обычно более беззаботны и менее целеустремленны.

Доброжелательность определяется поведением, воспринимаемым как доброе, участливое, сочувственное. Люди с высоким показателем доброжелательности обычно склонны к альтруизму, скромны, и им можно доверять, а с низким — в большей мере заняты своим благополучием и менее склонны выказывать участие.

Открытость — черта, в первую очередь характеризующаяся творческими способностями, воображением и любознательностью. Люди с высоким показателем открытости склонны искать новых переживаний, имеют либеральные политические взгляды, а те, у кого показатель открытости низкий, нового опыта не ищут и придерживаются консервативных взглядов в политике.

Под поверхностью Психологи обычно изучают личность, предлагая субъекту исследования заполнять анкеты, составленные так, чтобы можно было количественно измерить показатели по различным личностным характеристикам. Чтобы разобраться в биологической основе личности, недавно взялись применять свои разнообразные методы нейробиологи.

1999
Дебра Джонсон с коллегами обнаруживают различия в кровоснабжении коры экстравертов и интровертов

2011
Колин Де Янг с коллегами публикуют корреляции между чертами личности и функциональными связями в мозге

2012
Мехмет Махмут и Ричард Стивенсон увязывают психопатию и пониженную чувствительность к запахам

Один – анализ генетических вариаций, связанных с личностными чертами. Например, в работе 2005 года было показано, что вариации в гене катехол-О-метилтрансферазы (он кодирует фермент, регулирующий дофаминовую активность) связаны с открытостью. В другом исследовании продемонстрировали, что вариации в гене моноаминоксидазы-А (кодирует фермент, расщепляющий нейромедиаторы дофамин, серотонин, адреналин и норадреналин) обусловливают различия в доброжелательности и добросовестности.

Другой метод для рассмотрения индивидуальных особенностей устройства и работы мозга применяет томографию. В одном раннем исследовании, задействовав позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ), показали, что у интровертов более интенсивно снабжаются кровью лобные доли и передняя область таламуса, чем у экстравертов; ученые предполагают, что это обусловливает склонность интровертов к уединению и рефлексии. В той же научной работе показано, что у экстравертов усиленное кровоснабжение передней части поясной извилины и задней таламуса; это, по мнению исследователей, может обусловливать потребность экстравертов в более активной чувственной и эмоциональной стимуляции. Еще в одном исследовании продемонстрировано, что у экстравертов активность дофаминергических нервных путей среднего мозга усиливается в ответ на позитивный визуальный ряд, из чего может следовать, что экстраверты чувствительны к поощрению, особенно связанному с социальными взаимодействиями.

Психопатия

Психопатия — расстройство личности, привлекшее к себе за последние годы пристальное внимание. Психопаты склонны выказывать минимум эмоций, особенно страха, у них не получается сопереживать. Могут демонстрировать черствость, манипулятивность и порывистость, а также, хоть и вроде бы отличают плохое от хорошего, довольно безразличны к возможным последствиям своих действий. Психопатия ассоциируется с уменьшением объема амигдалы — структуры мозга, связанной со страхом и другими эмоциями, — а также с аномальной активностью орбитофронтальной коры, которая, насколько нам известно, занята процессами принятия решений и оценкой поощрения и наказания за результаты наших действий. Люди с высоким результатом по шкале психопатии, похоже, имеют и аномально развитые нервные пути в белом веществе, связывающие эти области.

Орбитофронтальная кора также задействована в обработке обонятельной информации, и одно недавнее исследование показало, что люди с психопатическими наклонностями путаются в запахах и различают их с трудом.

Есть и такой отчет одной исследовательской группы: пять основных черт личности коррелируют с разницей в плотности связи между областями мозга. Применив диффузионно-тензорную визуализацию (ДТВ), эти ученые обнаружили, что невротизм сопряжен с упрочением связей между лимбической системой и структурой под названием «предклинье», что может обусловливать большую склонность увязывать социальную информацию с эмоциональной. Экстраверсия, похоже, соотносится с усилением связей между частями лимбической системы, задействованными в поощрении и мотивации, а также между областями мозга, значимыми для распознавания лиц; открытость — с упроченной связью между областями, отвечающими за мечты и воображение; доброжелательность — с сильными связями между несколькими участками, занятыми социальным и эмоциональным вниманием. И, наконец, добросовестность, судя по всему, ассоциируется с усилением связей внутри средней височной доли, структуры которой заняты вспоминанием прошлого и воображением будущего.

«Личность есть высшая реализация врожденной неповторимости живого существа»

Карл Густав Юнг (1875–1961), швейцарский психиатр

Большинство исследований сделано на небольшой выборке участников, и в этих работах корреляции между чертами личности и теми или иными закономерностями поведения или связей относительно слабы. Все они основаны на средних показателях из имеющихся выборок, и поэтому изучение мозга отдельно взятых людей со сходными особенностями не гарантирует точного описания личности. Тем не менее эти работы интересны, поскольку представляют собой зачатки нейробиологических исследований личности, а будущие эксперименты и анализ несомненно приведут к более четкому пониманию связи личности с устройством и работой мозга.

В сухом остатке
Как устройство и деятельность мозга определяют личность?

18 Пациенты с поражениями мозга

Нейробиология полагается на исследования, произведенные на множестве испытуемых, однако другой способ изучать работу мозга — наблюдать за поведением пациентов с мозговыми травмами. История нейробиологии богата случаями поразительных изменений в поведении людей, переживших повреждения мозга. Такие исследования отдельных случаев — краеугольные камни в фундаменте современной нейробиологии.

Одно из первых – и самых известных – исследований отдельных случаев в нейробиологии и психологии касается железнодорожного рабочего по имени Финеас Гейдж. Однажды в сентябре 1848 года Гейдж нечаянно спровоцировал взрыв, в результате которого метровой длины железный прут прошил ему голову на большой скорости. «Окровавленный и выпачканный мозгами» прут впоследствии нашли в 10 метрах от места происшествия.

Примечательно, что Гейдж после этого чудовищного несчастного случая выжил и довольно скоро вернулся в сознание. Он быстро выздоровел и занялся своим делом как ни в чем не бывало. Однако в последующие месяцы семья Гейджа, близкие друзья и коллеги заметили в нем перемены. Прежде прилежный и любезный, Гейдж стал непредсказуем, вспыльчив и груб, а также принялся домогаться всех женщин подряд.

Железный прут повредил бóльшую часть левой лобной доли Гейджа. Это нарушило его навыки принятия решений и лишило всех социальных тормозов.

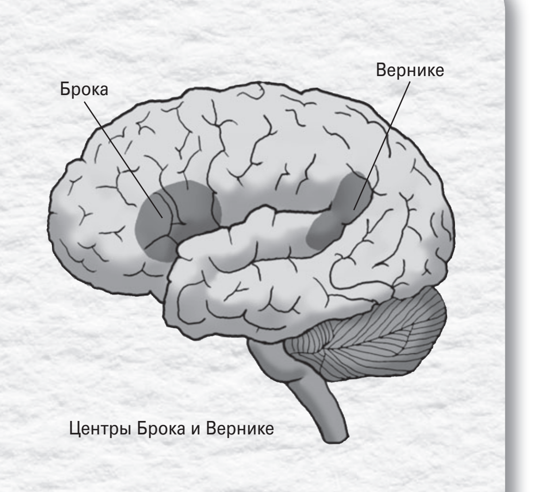
СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1848
Финеас Гейдж получает производственную травму лобной доли

1861
Пьер-Поль Брока описывает поражения мозга у пациентов-инсультников, потерявших способность говорить

1874
Карл Вернике описывает поражения мозга у пациентов-инсультников, неспособных понимать устную речь

Речь и инсульт



Центры Брока и Вернике

В 1860–1870-х годах врачи Пьер-Поль Брока и Карл Вернике работали с пациентами, у которых инсульт дал осложнения на речевой аппарат, а после смерти этих пациентов исследовали их мозг (*см. также главу 28 «Восприятие речи»*). Пациенты Брока не могли разговаривать, и у них всех был поврежден один и тот же участок левой лобной доли. Пациенты, обследованные Вернике, с трудом понимали устную речь и имели поражения в левой височной доле. Эти исследования доказали представление о том, что левое и правое полушария осуществляют разные функции, а также привели к мысли о доминантности полушарий. Левое полушарие сочли доминирующим, поскольку в нем содержатся речевые центры. Важно отметить, что классическая модель, предполагающая участие центров Брока и Вернике в производстве речи и ее понимании соответственно — очень упрощенная. Оба участка выполняют и другие задачи, а их точное местоположение по-прежнему вызывает споры.

Согласно рассказам очевидцев, Гейдж кардинально изменился как человек: те, кто его знал, говорили, что Гейджа словно подменили, «и не Гейдж будто вовсе». После того несчастного случая Гейдж потрудился еще сколько-то чернорабочим, а затем присоединился к цирку, где его показывали вместе с тем самым прутом, проткнувшим ему голову. Он умер под Сан-Франциско в 1860 году.

Вообще, конечно, рассказы о нем подтвердить нет возможности. Случай Финеаса Гейджа стал своего рода легендой, и теперь уж не отделить миф от действительности. Ученые пытались реконструировать череп Гейджа и определить таким способом масштабы поражения, однако точность реконструкции – вопрос по-прежнему открытый.

1940
Уильям П. ван Вагенен производит первую каллозотомию

1953
Х. М. оперируется по поводу тяжелой формы эпилепсии

1957
Бренда Милнер и Уильям Сковилл публикуют статью о работе памяти пациента Х. М.

1981
Роджер Сперри получает Нобелевскую премию за исследование пациентов после каллозотомии

Более того, исходя из недавних исследований, изменения в поведении Гейджа, возможно, имели место лишь сразу после травмы. Тем не менее именно из-за этого случая умственные навыки типа принятия решений и социальной сознательности начали связывать с лобными долями.

Поучительный случай Х. М. Еще один знаменитый случай – пациент с амнезией, известный по инициалам Х. М.*, перенесший нейрохирургическую операцию по поводу не излечимой медикаментами тяжелой формы эпилепсии. Во время операции хирурги полностью удалили гиппокамп Х. М. Благодаря операции эпилепсию устранили, однако не обошлось без серьезных осложнений: пациент утерял способность формировать новые воспоминания и, следовательно, ключевой компонент своего самоопределения.

В те времена** исследователи уже предполагали, что эта структура мозга занята формированием памяти, однако ясности в вопросе не было, а случай Х. М. однозначно доказал, что гиппокамп для формирования памяти совершенно необходим. Ученый-нейробиолог Бренда Милнер произвела исчерпывающую оценку памяти Х. М. и в процессе этого исследования единолично основала целую дисциплину – нейропсихологию.

> **«Изучение Х. М. Брендой Милнер есть один из краеугольных камней в истории современной нейробиологии»**
>
> **Эрик Ричард Кэндел (р. 1929), американский нейропсихиатр**

Работа Милнер показала, что существуют различные виды памяти. Из-за операции у Х. М. возникла тяжелая антероградная амнезия, или неспособность формировать новые воспоминания о событиях жизни. Однако тесты Милнер показали, что небольшие объемы информации и на короткое время Х. М. запоминать все-таки мог, а значит, у памяти есть независимые разновидности: кратко- и долговременная. Из последующих тестов Милнер и Сюзанн Коркин выяснили, что Х. М. по-прежнему мог приобретать простые моторные навыки и рисовать подробные планы своего дома – следовательно, эти навыки хранились в некой другой, независимой системе памяти.

Х. М. умер в 2008 году, и его полное имя стало общеизвестным – Хенри Густав Молэйсон. Он завещал свой мозг науке, и после его смерти мозг извлекли и перевезли в Калифорнию, где рассекли на тысячи срезов. Все данные по нему уже оцифровали, они доступны нейробиологам онлайн. Вероятно, Х. М. внес больший вклад в наше понимание работы памяти, чем кто бы то ни было, и, несомненно, еще поможет нам в этом.

* В русскоязычной литературе H. M. (Эйч Эм), Хенри Густав Молэйсон (Генри Молисон, 1926–2008).

** Операция произошла 25 августа 1963 года.

Разрыв связи В 1940-х нейрохирурги в Нью-Йорке разработали радикальный подход к лечению пациентов с тяжелой формой эпилепсии. Их метод — рассечение мозолистого тела, массивного узла нервных волокон, соединяющих левое и правое полушария мозга. Таким способом удается прервать сообщение между полушариями и уменьшить силу эпилептических приступов.

Эту процедуру — каллозотомию — произвели на менее чем десяти пациентах, которых потом, в 1960-х, обстоятельно пронаблюдали и пригласили к нескольким экспериментам. Примечательно вот что: эти пациенты могут вести нормальную жизнь, хотя кое-какие причуды в их поведении все же отмечаются. К примеру, одежду из шкафа они подбирают одной рукой, а потом другой запихивают обратно, будто это два разных человека со своими мыслями и намерениями.

В лаборатории проявились и другие последствия операции. Если, например, такому пациенту показать слово «авторучка» в левой части поля зрения, информация попадает в правое полушарие, а в левое не передается. Пациент, следовательно, не может произнести слово, потому что речевой центр помещается в левом полушарии. Однако подобрать предмет левой рукой он может — она контролируется правым полушарием, а связь между мозгом и рукой осталась нетронутой.

Исследования пациентов с несвязанными полушариями добавили веса представлению о том, что у каждого из полушарий своя специализация, однако и подпитали миф о том, что «левый мозг» логический, а «правый» — творческий. Самое же главное вот что: пациенты с рассеченной связью между полушариями показали, что полушария работают вместе. В мозге действительно есть специализированные области, однако сам он действует как единое целое и связи между полушариями и между их областями жизненно необходимы.

В сухом остатке

Изучение конкретных случаев открывает в работе мозга много важного

19 Театр сознания

Мы осознаем себя и мир вокруг как непрерывный поток мыслей и ощущений, но как мозг генерирует этот поток сознания — загадка. Согласно одной важной теории сознание подобно театру — «софит внимания» светит ярким лучом на некоторые нейронные процессы, и они, озаренные этим светом, попадают на сцену осознанности.

Мы все хорошо знакомы с понятием «сознание», но в то же время это глубоко загадочное явление. Мы все понимаем, что означает «пребывать в сознании»: в данный момент вы осознаете слова на этой странице, а также ощущение от сиденья под вами и, возможно, какой-нибудь фоновый шум. И все же, несмотря на вековые рассуждения философов и, с недавнего времени, нейробиологов, мы по-прежнему мало осведомлены о том, что есть сознание и как мозг его производит.

Мозг постоянно осуществляет множество операций, однако в любой момент времени мы осознаем лишь малую их часть, т. е. доступ наш к этим операциям ограничен. Можно сосредоточить внимание на чем-то происходящем в мире вокруг нас — на интересной телепрограмме, например, — а потом переключиться на возникшую внутри мысль или воспоминание. И то и другое — содержимое сознания, переживаемое как непрерывный поток восприятия. Одна солидная теория — модель общего рабочего пространства — объясняет, как мозг создает этот «поток сознания».

Экранные снимки Модель общего рабочего пространства применяет театр как метафору для описания механизмов мозга, отвечающих за производство сознания. Она рассматривает мозг как распределенную, параллельно функционирующую систему со множеством

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1641
Издание «Размышлений о первой философии» Рене Декарта

1960
Джордж Миллер, Юджин Гэлэнтер и Карл Прибрэм предлагают термин «рабочая память»

1983
Бернард Баарс предлагает модель общего рабочего пространства

задействованных одновременно процессоров. Эти процессоры — актеры, и любой доступен для сознания. Мы же осознаем этих актеров, лишь когда они появляются на «сцене». Когда их там нет, их действия нами не осознаны.

В театре сознания сцена — это рабочая память, позволяющая нам ненадолго извлекать определенные небольшие объемы информации и возиться с ними. Можно представить это себе в виде экрана, на который проецируются переживания, а просматриваем мы их «внутренним взором».

Избирательное внимание режиссирует этот спектакль, озаряя софитом сцену, а на ней — действия тех или иных актеров. Луч внимания ежеминутно освещает содержимое сознания, меняющееся по мере появления на сцене и исчезновения с нее актеров.

Хотя в луч внимания в любой момент времени попадают лишь единичные актеры, многие продолжают работать за кулисами. Их деятельность незрима и, следовательно, не проникает в осознанное поле, однако некоторые их действия могут повлиять на поведение актеров на сцене. По контуру луча внимания происходят смутно осознанные, но важнейшие события,

Мозговая слава

Французский мыслитель Рене Декарт полагал, что мозг производит сознание, отбирая определенную информацию и показывая ее на внутреннем экране, обозреваемом неким гомункулом (что означает «человечек», это метафора души). Нейробиологи отвергают это представление, однако модель общего рабочего пространства и другие теории и впрямь считают, что есть особое место в мозге, где «происходит» сознание. Поэтому современный философ Дэниэл Деннетт критически называет эти модели «картезианским театром» и в качестве альтернативы предложил модель «множественных черновиков». По Деннетту, множественные распределенные сети в мозге производят информационное содержание параллельно. Содержание, имеющее наибольшее влияние на остальные системы, добивается «мозговой славы» и попадает к нам в сознание. Он применяет метафору славы, чтобы подчеркнуть, что нет никакой точки во времени, когда тот или иной фрагмент информационного содержания обретает признание, заметное не сразу, а лишь позднее.

1991
Дэниэл К. Деннетт предлагает модель множественных черновиков сознания

1998
Станислас Доанн и Жан-Пьер Шанжо выдвигают теорию общего рабочего пространства

2009
Рафаэль Гайяр с коллегами показывают, что осознаваемое воздействие раздражителей, в отличие от неосознанного, широко транслируется по всему мозгу

способные тонко повлиять на сценическое действо. Связь между актерами в свете софита и за кулисами обоюдна. Луч внимания действует как «узловая точка»: он не только управляет действиями на сцене из-за кулис, но и передает значимую информацию со сцены всем остальным актерам.

Довод в поддержку Модель общего рабочего пространства — теоретическая структура, описывающая ментальную архитектуру сознания. Если рассматривать сознание с этих позиций, оно может быть осмыслено как механизм, которым мозг ранжирует информацию по ее значимости и дает нам доступ к ней. Модель успешно описывает некоторые ключевые характеристики сознания. Луч внимания объясняет, почему сознание имеет ограниченную емкость, постоянная подвижность этого луча — наше переживание сознания как потока, а взаимодействия между периферическими актерами и теми, что на сцене, — то, как сознательная и бессознательная обработка данных влияют друг на друга.

Хотя модель общего рабочего пространства — теория, существуют экспериментальные доказательства в ее пользу. В 2009 году группа французских исследователей получила редкую возможность записать нейронную деятельность непосредственно в мозге пациентов-эпилептиков, находившихся в сознании во время операции. Пациентам показывали последовательности слов на экране компьютера, прямо на операционном столе.

Перед некоторыми словами и после них ученые вводили «маску», т. е. делали те или иные слова зримыми лишь на 29 миллисекунд, и потому пациенты не успевали осознать их. Показывались и слова без «масок», их было видно подольше.

> **‘Сознание действует как «освещенное место» на сцене и возникает там от избирательного «луча» внимания’**
>
> Бернард Баарс (р. 1946), американский нейробиолог, когнитивист

Исследователи разместили электроды примерно в 180 точках поверхности мозга и обнаружили, что слова за масками и без них провоцировали в мозге разную последовательность действий. Слова под маской вызывали быстрый и сильный отклик, в основном — в зрительной коре, но этот отклик очень быстро гаснул. Слова без маски, напротив, вызывали сильный отзыв и в зрительной, и в лобной коре, а следом — устойчивое, согласованное оживление во всем мозге. Эти открытия поддерживают теорию общего рабочего места сознания — исследователи интерпретируют их так: слова без маски транслируются по всему мозгу, а под маской — нет.

Новейшая модель Желая показать, как исходную теорию можно применить к нейронным сетям, исследователи уточнили ее. В новой версии общее нейронное рабочее место состоит из набора нейронов, распределенных по всей коре головного мозга и сообщающихся друг с другом аксонами, проницающими немалые расстояния в коре. Эти клетки аккумулируют соперничающие фрагменты данных и выбирают наиболее пригодные для выполнения имеющейся задачи. Затем они усиливают подходящие стимулы и распределяют (или транслируют) их соответствующим клеткам в других областях коры, чтобы избранные стимулы оказались в луче внимания и добрались до нашего сознания. Нам все еще далеко до понимания, как именно мозг генерирует сознание, однако модель общего рабочего места — пока одна из самых полных теорий.

В сухом остатке

Сознание — луч внимания

20 Расстройства сознания

Осознанное понимание — способность воспринимать себя и мир вокруг. У пациентов, едва пребывающих в сознании, эта способность существенно ограничена, а у пребывающих в вегетативном состоянии целиком отсутствует — так, во всяком случае, считается. Однако новые методы показывают, что у некоторых подобных пациентов на самом деле сохраняется некоторая часть сознания, и исследователи даже могут с ними общаться.

Осознанное понимание — ключевой компонент сознания. Оно производится согласованной деятельностью многих частей мозга, в особенности корой, состоящей из десятков специализированных областей, обрабатывающих чувственную информацию, которая поступает от тела и из внешнего мира. Осознанное понимание также зависит от сохранности связей между корой и подкорковыми структурами вроде таламуса и близко соотносится с возбуждением, регулируемым той частью мозгового ствола, которая называется ретикулярной активизирующей системой.

Улучшаем диагноз Нам известно, что осознанное понимание существенно страдает при расстройствах сознания в минимально сознательном и вегетативном состояниях, но мы все еще не умеем определять степень осознанности у пациентов с таким диагнозом, равно как не умеем различать эти состояния, чтобы диагноз оказался точен. Однако лет десять назад положение дел начало меняться: развитие технологий позволило врачам определять такие расстройства с большей точностью.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1972

Брайен Дженнетт и Фред Плам предлагают термин «вегетативное состояние»

1990

Терри Шайво переносит инфаркт и впадает в устойчивое вегетативное состояние

2002

Обнародование диагностических критериев для состояния минимального сознания

Применяя новые методы, исследователи обнаружили, что значительная часть пациентов в вегетативном состоянии, представлявшемся ранее полностью бессознательным, на самом деле располагают некоторым сознанием и даже способны сообщать о своих мыслях, невзирая на отсутствие отклика в поведенческих тестах.

> **«Сознание — это проявление мира человека»**
>
> **Томас Метцингер (р. 1958), немецкий философ**

Расстройства сознания чаще всего возникают при серьезных поражениях мозга вследствие тяжелых травм головы. По разным оценкам от 100 000 до 200 000 пациентов во всем мире страдают такими расстройствами, хотя ныне считается, что примерно в 40% случаев поставлен неверный диагноз. Каждое болезненное состояние связано с разными последствиями, но точный диагноз – это целое дело. К примеру, пациенты в состоянии минимального сознания обычно с большей вероятностью идут на поправку, чем пациенты в вегетативном состоянии, но мы по-прежнему не можем предсказать, чье самочувствие улучшится и насколько. Современные клинические исследования сосредоточены на развитии методов различения этих двух разновидностей расстройства. Возможность постановки точного диагноза могла бы упростить врачам предсказание шансов на выздоровления того или иного пациента.

Расстройства сознания бывают следующих видов:

Кома – глубоко бессознательное состояние, когда пациенты не способны двигаться, открывать глаза или как-либо отвечать на внешние раздражители. У коматозных пациентов не наблюдается нормальных циклов сна и бодрствования; считается, что сознание в них отсутствует нацело. Они не способны самостоятельно дышать, и потому жизнь в них поддерживается искусственной вентиляцией. Люди редко пребывают в коме подолгу – их состояние либо улучшается, либо они в течение пары недель умирают.

Вегетативное состояние. Некоторые пациенты входят в это состояние после краткой комы, а тех, кто задерживается в нем дольше, чем на месяц, без признаков улучшения, считают находящимися в устойчивом вегетативном состоянии.

2005
Федеральный суд США поддерживает решение прекратить искусственное кормление Терри Шайво

2006
Эдриэн Оуэн с коллегами применяет фМРТ для общения с пациентами в вегетативном состоянии

2009
Исследователи показывают, что некоторых пациентов в минимальном сознании можно обучить простым ассоциациям

Терри Шайво

Трагическая история Терри Шайво особенно ярко являет нравственные трудности ухода за пациентами в минимальном сознании. Шайво пережила обширный инфаркт, в результате чего мозг понес серьезный ущерб, и через несколько месяцев ей диагностировали устойчивое вегетативное состояние. Последовало жестокое судебное разбирательство между мужем Шайво, считавшим, что Терри не пожелала бы так жить и ее искусственное жизнеобеспечение должно быть прекращено, и ее родителями, убежденными, что она выказывает признаки сознания и поэтому должна жить дальше. Эта тяжба продлилась семь лет, за это время система жизнеобеспечения Терри Шайво была дважды перезапущена; в 2003 году губернатор штата Флорида Джеб Буш подписал специальный новый указ, требовавший продолжать жизнь пациентки. Все закончилось в 2005 году, когда федеральный суд поддержал исходное решение прекратить питание Шайво.

Циклы сна и бодрствования при таком диагнозе сохраняются, но с виду бодрствующие пациенты не выказывают никаких признаков сознания. Новые методы оценки деятельности мозга выявили: по меньшей мере каждый пятый пациент с диагнозом «вегетативное состояние» на самом деле сохраняет некоторую долю осознанности.

Минимальное сознание. Минимально сознательное состояние стали считать самостоятельной разновидностью расстройства сознания лишь недавно. Пациенты в минимальном сознании выказывают перемежающиеся признаки осознанности себя и окружающей среды. Они не могут общаться, но иногда выполняют простые команды, могут тянуться к предметам и хвататься за них, а также улыбаться или плакать в ответ на эмоциональные раздражители. И хотя шансов на поправку у них больше, чем у пациентов в вегетативном состоянии, некоторые остаются в минимальном сознании насовсем.

Устанавливаем контакт Несколько лет назад исследователи изобрели метод общения с вегетативными пациентами. Ученые помещали пациентов в томограф и последовательно задавали им простые вопросы вроде таких: «У вас есть брат?» и просили пациентов представлять, как те играют в теннис, если ответ утвердительный, а если отрицательный, то воображать, как они гуляют вокруг дома.

Эти умственные картинки вызывают разную последовательность работы мозга: первая активирует премоторную кору, занятую планированием движений, а вторая – гиппокамп и прилежащие области, связанные с пространственной памятью.

Поначалу исследователи не представляли, осознают ли пациенты выданные им инструкции и поставленные вопросы. К своему удивлению, ученые обнаружили, что некоторые пациенты откликались на вопросы и отвечали на них правильно – их ответы потом сверяли с медицинскими записями и показаниями родственников. Сейчас на основе первых экспериментов разрабатывается батарея нейропсихологических тестов, которые помогут врачам точнее оценивать состояние пациентов и определять их текущие умственные способности.

Возможность общаться с такими пациентами затрагивает важные нравственные вопросы. Можно ли их спрашивать, желают ли они жить дальше или предпочли бы умереть? Исследователи, занятые этой темой, считают, что этот вопрос неэтичен, и не в последнюю очередь потому, что в большинстве стран законодательство, касающееся эвтаназии, не позволяет выключать систему жизнеобеспечения, если пациент выражает желание умереть. Напротив, считается, что пациента надо спрашивать про то, что облегчит сиделкам уход за ним и сделает его жизнь как можно удобнее (например, «Что-то болит?») или про его пищевые и досуговые предпочтения.

В сухом остатке

Осознанное понимание серьезно страдает при расстройствах самосознания

21 Внимание

Внимание — деятельность мозга, в процессе которой мы сосредоточиваемся на одних предметах и оставляем в стороне другие. Это привратник нашей осознанности: то, на что не обратили внимания, мы не воспринимаем, а емкость нашего внимания жестко ограничена четырьмя предметами, и механизмы внимания мозга чрезвычайно избирательны.

Слово «внимание» — понятие из нашей повседневности; у него много смыслов, однако в нейробиологии оно обозначает механизмы, при помощи которых мозг позволяет нам перерабатывать наиболее отвечающие ситуации входящие сигналы, мысли или действия и игнорировать не относящиеся к делу. Различают «произвольное внимание», т. е. нашу способность сосредоточиваться на чем-либо по собственному желанию, и «пассивное внимание» — процесс «захвата» нашего внимания чем-либо извне.

Внимание интересовало исследователей уже более ста лет. Великий американский психолог Уильям Джеймз рассматривал его ключевые черты еще в 1890-х годах, отмечая, что мы можем сознательно контролировать фокус своего внимания, однако пределы этой возможности жестко ограничены. Примерно тогда же немецкий врач и физик Герман фон Гельмгольц произвел первые эксперименты с этим явлением.

Гельмгольц смотрел на экран с изображениями букв, освещая при этом лишь небольшую его часть при помощи электрической искры. Уперев взгляд в центр экрана и заранее решив, на какой его части сосредоточить внимание, он смог воспринять буквы именно там, но более нигде. Гельмгольц также наткнулся на то, что мы теперь называем «скрытым

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1890
Уильям Джеймз в книге «Принципы психологии» определяет понятие внимания

1894
Герман фон Гельмгольц производит первые исследования зрительного внимания

1953
Колин Черри публикует статью об эффекте вечеринки

вниманием» – оно позволяет нам видеть что-либо «краем глаза». Оно отличается от открытого, действующего путем перемещения взгляда в определенном направлении.

Эффект вечеринки с коктейлем Лишь через 50 лет исследователи начали собирать экспериментальные объяснения механизмов внимания. В 1953 году британский психолог Колин Черри изучил так называемый «эффект вечеринки» – нашу способность сосредоточиваться на одном разговоре в шумной хаотической внешней среде и игнорировать все остальное.

С помощью наушников Черри транслировал два разных речевых потока в уши испытуемых и просил их сразу повторять все, что они услышат в каком-нибудь одном ухе. Он обнаружил, что участники эксперимента не могут повторить ни слова, прозвучавшего в другое ухо, из чего сделал вывод, что, обращая внимание на слова, поступающие в одно ухо, испытуемые лучше обрабатывают эту информацию – в ущерб той, что поступила им через другое ухо. Черри также отметил, однако, что участники эксперимента воспринимали информацию высокой приоритетности – например, свое имя, – даже если она поступила им в то ухо, на которое они не обращали внимания. Это наблюдение, «вторжение неконтролируемых сигналов», привело к предположению, что мозг обрабатывает всю входящую информацию, независимо от того, обратили на нее внимание или нет.

«Внимание – способность ума завладевать чем-то одним из, казалось бы, нескольких одновременно доступных предметов или мыслительных цепочек»

Уильям Джеймз (1842–1910), американский философ, психолог

Через несколько лет другой британский психолог, Дональд Бродбент, выдвинул для объяснения этого явления важную теорию избирательности внимания – бутылочного горлышка. Согласно теории Бродбента, система обработки информации мозгом – это канал с ограниченной пропускной способностью, и через него может пройти лишь определенное количество данных.

Этот канал действует на манер ворот: он открыт для информации, на которую обратили внимание, и та попадает на обработку в мозг, но закрыт для данных проигнорированных. Бродбент также отметил, что работа этих ворот – под сознательным контролем.

1957
Доналд Бродбент выдвигает теорию бутылочного горлышка

1999
Дэниэл Саймонз и Кристофер Шебри публикуют результаты экспериментов с невидимой гориллой

2011
Нилли Лави с коллегами публикуют первое исследование глухоты невнимания

Ловкость рук, ловкость ума

Фокусники прекрасно знают, что внимание крайне избирательно, и мастерски владеют вниманием аудитории, дабы усилить впечатление от своих трюков. Им, к примеру, известно, что люди обычно склонны направлять взгляд туда же, куда смотрят другие вокруг; это явление называется «совместным вниманием». Фокусники используют это явление, вынуждая зрителей смотреть туда же, куда смотрит артист на сцене, и тем самым отвлекая их от скрытых маневров, на которых и зиждется трюк. Знают они и то, что внезапное появление неожиданного предмета очень отвлекает внимание, и оно будет мгновенно приковано к этому предмету. Появление кролика из шляпы или летящего голубя — типичные тактики отвлечения внимания публики, и под этим прикрытием можно произвести тайные манипуляции.

Невидимая горилла Внимание и осознанность близко связаны друг с другом, поскольку мы обычно не воспринимаем ничего, на что не обратили внимания сознательно. И хотя уже более столетия известно, что внимание чрезвычайно избирательно, мы лишь недавно оценили, до какой степени. Из исследований, опубликованных за последние десять лет, стало понятно, что сосредоточение внимания на чем-то оставляет нас полностью неосведомленными о картинах и звуках, кои в противном случае были бы вопиюще очевидными.

Эксперимент «невидимая горилла», впервые проведенный в 1999 году, — самое поразительное подтверждение сказанному. Исследователи попросили участников эксперимента посмотреть небольшой видеофрагмент про две баскетбольные «команды» и велели обратить пристальное внимание на игроков и посчитать, сколько сделано пасов мячом. Примерно к середине фрагмента на экране появился человек в костюме гориллы, встал среди шести игроков и несколько раз стукнул себя кулаками в грудь, после чего покинул экран.

Занятно вот что: исследователи обнаружили, что многие испытуемые не заметили человека в костюме гориллы, потому что полностью сосредоточились на действиях игроков.

Эта неспособность замечать нечто совершенно очевидное носит название «слепоты невнимания». В 2012 году другая группа исследователей продемонстрировала слуховой эквивалент этого явления — «глухоту невнимания». Они показывали участникам своего эксперимента крестообразные фигуры на экране. У каждого креста был один зеленый и один синий луч, и один луч чуть длиннее другого. Участников попросили указать, какой луч синий или

какой длиннее. Вторую задачу поставили посложнее: нужно было внимательно разглядывать кресты, чтобы понять мелкие различия в длинах разных лучей.

На участников на все время эксперимента надели наушники. При выполнении задачи участники то и дело слышали некий звук. По окончании у них спросили, слышали ли они его. Оказалось, что испытуемые гораздо реже слышали звук, когда выполняли более сложную задачу, а это означает, что эффект невнимания возникает и между разными органами чувств. Иными словами, сосредоточивая внимание на зрительной задаче, мы упускаем звуки, и наоборот. У этого явления есть очевидные последствия в повседневной жизни. К примеру, набирая текстовое сообщение в телефоне и переходя при этом проезжую часть, мы рискуем не обратить внимание на звук подъезжающего автомобиля. Однако есть в этой особенности внимания и преимущества: мы умеем игнорировать отвлекающие факторы и сосредоточиваться на работе.

В сухом остатке

Внимание — узко сфокусированный луч

22 Рабочая память

Рабочую память, необходимую для мыслительных процессов человека, можно представить как умственное рабочее место или записную книжку мозга; это нейронная система хранения и применения небольшого объема полезной информации. Рабочая память тесно связана с вниманием и тоже имеет ограниченную емкость.

Понятие «рабочая память» описывает механизмы мозга, занятые временным хранением и работой с информацией, имеющей отношение к текущей задаче. Эта способность позволяет нам эффективно планировать и производить повседневные действия. Рабочая память необходима при чтении и выполнении арифметических вычислений в уме, например, или при наборе телефонного номера: до повсеместного распространения мобильных телефонов для того, чтобы позвонить кому-нибудь, необходимо было посмотреть номер в телефонной книжке, а затем несколько раз повторить его в процессе набора. После того как вы набрали нужный номер, эта информация больше не требуется, вы перестаете ее повторять про себя и быстро забываете.

Двухуровневое хранение В конце 1960-х годов британские психологи предложили одну важную модель, которая устроена так: память состоит из двух отдельных, но взаимосвязанных систем хранения – кратко- и долговременной. Согласно этой модели память есть результат потока информации, проходящего через три ящика – три системы запоминания. Первым делом информация из окружающего мира поступает в сенсорную память, далее те блоки данных, на которые мы обращаем внимание, перемещаются в кратковременную память. Они, в свою очередь, могут дальше

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1885
Герман Эббингауз исследует свою способность запоминать последовательности бессмысленных слогов

1949
Дональд Хебб обозначает различие между кратко- и долговременной памятью

1956
Опубликована классическая работа Джорджа Миллера «Магическое число семь плюс-минус два»

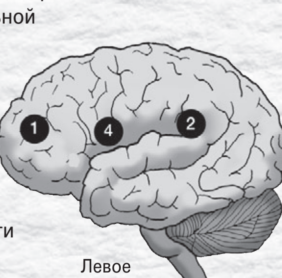
Нейроанатомия рабочей памяти

фМРТ-исследования пациентов с поражениями мозга и здоровых людей показывают, какие участки мозга активируются во время выполнения рабочей памятью различных задач, а исследования обезьян, имеющих ту же емкость рабочей памяти, что и люди, выявляют особенности клеточных механизмов этих процессов. Все полученные результаты славно укладываются в многокомпонентную модель.

Центральный управляющий элемент (контрольный центр) связан с активностью дорсолатеральной префронтальной коры (1) — ее деятельность при нарастании объема задач рабочей памяти все более оживляется.

Фонологическая петля задействует участки мозга, связанные с речью, расположенные в области смыкания височной и теменной долей левого полушария (2), а визуально-пространственная матрица — участки мозга в правой затылочной и теменной долях (3), обрабатывающие зрительные и пространственные данные соответственно; также фонологическая петля задействует правую лобную долю.

Повторение цепочки слов путем их произнесения вслух или про себя активирует участки левой лобной и височной долей, задействованных в лингвистических задачах, включая центр Брока (4) и мозжечок (5).



Нейроанатомия рабочей памяти

оказаться в памяти долговременной — если несколько раз повторить. Без повторения информация выпадает из кратковременной памяти и забывается.

Модель «двойной обработки» была в свое время крайне значимой, поскольку объясняла различные наблюдения деятельности памяти — почему, например, пациенты с амнезией (*типа Х. М., см. стр. 74*) сохраняют способность удерживать небольшие объемы информации, в отличие от других, перенесших более серьезные повреждения памяти. Но все же эта модель — большое упрощение: она обращается с кратко- и долговременным

1968
Ричард Аткинсон и Ричард Шиффрин предлагают модель двойной обработки для памяти

1974
Алан Бэддли и Грэм Хитч предлагают трехкомпонентную модель рабочей памяти

1975
Алан Бэддли, Нил Томсон и Мэри Бьюкенен исследуют «эффект длины слова»

хранилищами так, будто они – отдельные механизмы, а на самом деле они суть разновидности друг друга. Поэтому другие исследователи предложили модель рабочей памяти – она описывает разные компоненты кратковременной.

Обновление памяти Обновление рабочей памяти – классическое представление о кратковременном хранении данных, однако оно утверждает, что рабочая память состоит из множественных взаимодействующих компонентов. Рабочая память – понятие теоретическое, однако сотни экспериментов показывают, что оно и осмысленно, и полезно. Есть несколько различных моделей рабочей памяти, но более прочих известна многокомпонентная модель, впервые выдвинутая в 1970-х годах. Согласно этой модели, рабочая память состоит из трех частей – центрального управляющего элемента, или контрольного центра, который следит за двумя «подчиненными» подсистемами и координирует их деятельность.

Одна из этих подсистем – фонологическая петля, она временно хранит память о словах и звуках, связанных с речью. Эта сторона рабочей памяти необходима для любой деятельности, требующей запоминания словесных последовательностей вроде удерживания в голове телефонного номера на время, нужное для его набора. Фонологическая петля близко связана с речевой системой мозга. Например, люди гораздо менее точно могут повторить цепочку из похоже звучащих слов, чем из слов непохожих или близких по смыслу. Длина слова также влияет на объем памяти: гораздо труднее запомнить последовательность длинных слов, чем коротких, потому что длинное слово дольше повторять. Вследствие этого валлийским детишкам хуже дается запоминание списка чисел, чем английским, потому что валлийские названия чисел длиннее.

«Процессы человеческого мышления подкрепляются единой системой временного хранения информации и управления ею»

Алан Бэддли (р. 1934), британский психолог

Вторая подсистема – визуально-пространственная матрица, в ней временно аккумулируется зрительная информация: цвет, форма и текстура предметов, пространственные данные (расположение предмета в нашем непосредственном окружении или путь между двумя точками). Зрительная и пространственная информация хранятся в матрице по отдельности, и тому есть доказательства – из экспериментов, в которых задачи, поставленные испытуемым, влияют на их зрительные, но не пространственные навыки, и наоборот, а также из наблюдений за пациентами с рассеченным мозолистым телом, выказывающими неловкость в обращении с каким-то одним из этих двух наборов данных. Способность хранить зрительные и пространственные образы и обращаться с ними важна в архитектуре и инженерном деле, например; она позволила Альберту Эйнштейну развить общую теорию относительности.

Нащупываем границы возможного Ранние исследования кратковременной памяти показали, что объем памяти у большинства людей ограничен примерно семью предметами. Можно, правда, расширить эти пределы, если снабдить каждый объект бóльшим объемом информации; этот процесс называют «чанкингом»*, или разбиением на блоки. Смотрите, как работает чанкинг. Попробуйте запомнить последовательность букв РКНДХБНЛЦРФУ. А теперь НХЛ ФБР ЦРУ ДНК. Обе последовательности содержат одни и те же 12 букв, однако вторую запомнить проще, чем первую, потому что буквы в ней собраны в группы и образуют аббревиатуры, знакомые большинству из нас.

* От англ. *chunk* — кусок.

Один из первых классических экспериментов показывает: рабочая память ограничена и по времени. Участникам в течение 50 миллисекунд показывали блок из 12 букв, выстроенных в три ряда по четыре буквы в каждом, а потом попросили вспомнить как можно больше. В среднем участники могли вспомнить всего по одной букве из каждого ряда. А если сразу вслед за показом просили смотреть на любой один ряд, они могли вспомнить все четыре буквы из него. Однако если инструкция сосредоточиться на одном ряде следовала через секунду после букв, участникам вспоминалась лишь одна из ряда и по одной же — из остальных трех. Из этого следует, что рабочая память впрямую связана с механизмами внимания.

«У мгновенной памяти объем конечен и исчисляется примерно семью предметами»

Джордж Армитедж Миллер (1920–2012), американский когнитивист, психолингвист

Ограниченная емкость зрительно-пространственной рабочей памяти объясняет любопытное явление под названием «слепота к изменениям», при которой люди не замечают перемен в окружающей среде, например цвета или положения объекта на картинке или вообще его исчезновения. Такого рода открытия подтверждают, что объем рабочей памяти строго ограничен четырьмя объектами. Внимание действует как фильтр, определяющий, что впустить в рабочую память, а что нет, и мы осознаем лишь то, на что активно обращаем внимание.

В сухом остатке

Ограниченный объем информации, хранимый ограниченное время

23 Обучение и память

Ваш мозг располагает беспредельной на первый взгляд емкостью для новой информации и содержит несколько отчетливых подсистем для узнавания и хранения данных разных типов. Клеточная основа обучения и памяти изучается нейробиологией едва ли не активнее всего остального — ей посвящены десятилетия научной работы, показавшей, что от познания физическое устройство мозга меняется.

Мозг наделяет нас поразительной способностью хранить, казалось бы, неограниченные объемы информации, дает нам возможность приобретать новые навыки, вспоминать фактическое знание и жизненные события и, учась на собственном опыте, изменять свое поведение. Познание и память пристально изучают более сотни лет, и мы знаем о существовании нескольких разновидностей и того и другого. За последние полвека в нашем понимании клеточных механизмов познания и памяти произошло несколько мощных прорывов, и ныне бытует устойчивое мнение, что оба процесса связаны с упрочением связей между нейронными сетями.

Озадаченные коты и голодные псы Оперантное научение (условный рефлекс) — форма обучения, при которой поведение видоизменяют через его последствия. Впервые его исследованием занялся американский психолог Эдвард Торндайк; он помещал котов в специальный ящик и наблюдал за попытками животных выкарабкаться и добраться до еды. Коты пробовали разные способы сбежать, пока не натыкались на рычаг, открывавший дверку.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1904
И. П. Павлов получает Нобелевскую премию за работы по классическому условному рефлексу

1905
Эдвард Торндайк формулирует закон эффекта

1949
Дональд Хебб в книге «Устройство поведения» предлагает механизм долговременной потенциации

Их вновь сажали обратно, и с каждым разом коты выбирались все быстрее, поскольку научались связывать нажатие на рычаг с благоприятными последствиями. Основываясь на этих наблюдениях, Торндайк предложил закон эффекта, который гласит, что любое поведение с приятными последствиями скорее всего будет повторено — в отличие от поведения с неприятными последствиями.

Бихевиорист Беррес Ф. Скиннер впоследствии подробно объяснил оперантное научение, применив концепцию поощрения и наказания. Положительное подкрепление (поощрение) награждает поведение и тем самым поддерживает его, тогда как отрицательное подкрепление поддерживает поведение, устраняющее неприятный раздражитель. К примеру, если крыса получает еду за каждое нажатие на рычаг, едой нажатие на рычаг подкрепляется положительно. Если же, напротив, нажатием на рычаг крыса предотвращает удар током, это отрицательное подкрепление того же самого нажатия на рычаг. Наказание имеет противоположный эффект и ослабляет проявленность поведения, поскольку оно ассоциируется с неприятными раздражителями.

«Поведение формируется и поддерживается его последствиями»

Беррес Фредерик Скиннер (1904–1990), американский психолог, изобретатель, писатель

Еще одна форма обучения — классический условный рефлекс, случайно открытый русским физиологом Иваном Петровичем Павловым. Павлов изучал пищеварение у собак и заметил, что слюноотделение у них начинается перед приемом пищи. В ставших впоследствии знаменитыми экспериментах Павлов, кормя подопытных собак, звонил в колокольчик. После нескольких повторов сочетания «еда — колокольчик» животные научились ассоциировать эти два раздражителя, и слюноотделение у них начиналось по звонку колокольчика. Если же колокольчик звенел, а еды не появлялось — и так несколько раз подряд, — условный рефлекс (слюноотделение по колокольчику) исчезал.

И оперантное обусловливание, и классический условный рефлекс применимы и для воздействия на поведение человека. К примеру, классический условный рефлекс — основа терапии отвращения, лечения, при котором пациент учится ассоциировать нежелательное поведение с неприятными раздражителями. Алкоголикам часто дают рвотные

1953
Хенри Молэйсон (Х. М.) прооперирован по поводу эпилепсии

1966
Терье Лёмо обнаруживает долговременную потенциацию в гиппокампе кроликов

2006
Джеймз Макго с коллегами впервые описывают гипертиместический синдром

лекарства, от которых их начинает тошнить, стоит им выпить алкоголь, — есть надежда, что такая связка двух событий поддержит алкоголика в решимости бросить пить.

Творим воспоминания Существует несколько разных видов памяти, и каждый зависит от определенного набора систем хранения и извлечения воспоминаний. Гиппокамп — необходимая для памяти и вспоминания структура мозга, однако нам известно, что долговременное хранение воспоминаний задействует еще и лобную кору, а вспоминание со временем все больше зависит от лобной коры и все меньше — от гиппокампа.

Декларативная память — память на факты и знание. Она позволяет нам помнить, к примеру, что Лондон — столица Великобритании, а Джордж У. Буш — бывший президент США; в основном она зависит от гиппокампа.

Эпизодическая память — память на житейские события. Благодаря ей мы помним события детства, а также что мы ели вчера на завтрак; она связана с гиппокампом и корой лобных долей.

Проклятие или благословение?

Гипертиместический синдром, или исключительная автобиографическая память, — расстройство, при котором человек буквально не может забыть ничего, что происходило с ним в жизни. Впервые это явление описали в 2006 году, и оно, судя по всему, очень редкое; на сегодня имеется всего несколько десятков документально подтвержденных случаев.

Люди с гипертиместическим синдромом посвящают массу времени размышлениям о своем прошлом и располагают поразительной способностью вспоминать почти каждый день жизни с идеальной точностью. К примеру, они могут потрясающе подробно рассказать, что они делали в такой-то день в 1982 году и каковы были новости того дня. Это свойство памяти может мешать и вредить в повседневной жизни. Отчего оно возникает, пока точно не известно, однако в исследовании, опубликованном в 2012 году, показано, что гипертимезия связана с особенностями устройства мозга. У пациентов с этим расстройством больший объем серого вещества в участках мозга, связанных с автобиографической памятью, и усиленная связь между этими участками и лобными долями.

Процедурная память занята нашими навыками — как что делается: как ездить на велосипеде, водить машину или играть на музыкальном инструменте. Поначалу обучение этим навыкам требует больших усилий, зато потом они становятся автоматическими. Процедурная память зависит от мозжечка и полосатого тела.

Семантическая память — память на значения и понятия, нужна для процессов типа чтения и зависит от нашей способности запоминать значения слов. Семантическая память задействует гиппокамп и кору лобных долей.

Пространственная память — разновидность памяти, записывающая информацию о нашем окружении и соотнесенности предметов и объектов окружающей среды друг с другом. Она в основном зависит от структур средней височной доли рядом с гиппокампом.

Зарядка для синапсов Ныне представляется, что и обучение, и память связаны с упрочением синаптических связей. Долговременная потенциация — один из механизмов реализации этого упрочения, она была открыта в экспериментах на срезах мозга кролика: аксоны мозга стимулировали электродами, погружая их в гиппокамп одновременно с получением клетками сигналов от аксонов. Стимуляция клеток разом заставляет их откликаться синхронно, что усиливает перекличку между ними на целые дни или даже недели настолько, что и одиночный разряд, приложенный к аксонам позднее, вызывает мощный отклик у клеток далее по цепи. Такое усиление переклички осуществляется несколькими механизмами. Пресинаптические клетки могут выделять больше нейромедиаторов, например, а постсинаптические — дополнительные рецепторы в мембрану. Мы к тому же знаем, что обучение и опыт могут приводить к формированию совершенно новых синапсов, провоцируя образование дендритных шипиков — крохотных отростков, похожих на грибы, производящих синаптическую передачу.

В сухом остатке
Обучение изменяет мозг

24 Умозрительные путешествия во времени

Память позволяет нам переноситься в прошлое и вспоминать события, произошедшие много лет назад. Это реконструктивный процесс, в котором от нас требуется собрать воедино фрагменты воспоминаний в непротиворечивую и относительно точную картину. Это свойство памяти позволяет нам воображать и будущие события, так же реконструируя их из кусочков настоящих воспоминаний.

Память, писал Уильям Блейк, позволяет нам «перенестись сквозь время и пространство»*. Она позволяет нам странствовать во времени умозрительно — возвращаться в прошлое и вспоминать не только гулянку в прошлую субботу, но и события далекого былого. Однако память выполняет и другую функцию: она дает нам возможность умом переноситься и в противоположном направлении — представлять будущие события, которые мы еще не пережили. Эта способность симулировать будущее — может быть, первичная функция автобиографической памяти (памяти на события жизни).

* Из поэмы «Видения дщерей Альбиона» (1793), пер. А. Я. Сергеева.

Испорченный телефон Благодаря десятилетиям исследований мы знаем, что память по сути — скорее восстановление, нежели воспроизведение. Память не работает как видеомагнитофон, т. е. не хранит события в точности такими, какие они были, когда произошли. На самом деле извлечение воспоминаний есть увязывание мелких фрагментов информации в осмысленное повествование.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1932
Издание книги Фредерика Бартлетта «Воспоминание»

1985
Эндель Тульвинг выдвигает гипотезу об умозрительном путешествии во времени — хронестезии

2003
Исследования мозга показывают, что вспоминание и представление будущего задействуют одни и те же участки мозга

Поэтому вспоминание подвержено ошибкам, закрадывающимся в процессе восстановления. И все же наши воспоминания по большей части достаточно точны, и на них можно полагаться.

Но иногда ошибки могут оказываться настолько существенными, что делают воспоминание совершенно ненадежным — такое случается при конфабуляции и ложных воспоминаниях.

Первую работу по восстановительной природе памяти произвел Фредерик Бартлетт, экспериментальный психолог, трудившийся в Кембриджском университете. Озарения Бартлетта о памяти посетили его во время игры в «испорченный телефон» — в ней игроки передают друг другу некую историю по цепочке. Каждый следующий человек, пересказывая историю соседу, намеренно привносит несколько небольших неточностей, и в конце концов история становится совершенно не похожа на ту, с которой игра начиналась.

Бартлетт приспособил эту игру к своим экспериментам. В одном он попросил испытуемых прочитать индейскую сказку «Война призраков», а потом несколько раз ее вспомнить, в некоторых случаях — почти через год. Он обнаружил, что люди, вспоминая, всегда видоизменяли повествование. Они отбрасывали те части истории, которые казались им незначимыми, смещали смысловые акценты туда, где считали их наиболее уместными, и рационализировали части, которые остались ими не понятыми, чтобы прояснить их для самих себя.

«Чтобы вспомнить химическую формулу, во времени путешествовать не требуется… А вот вспомнить события из прошлого или представить будущее без этого не получится»

Эндель Тульвинг (р. 1927), эстонско-канадский экспериментальный нейробиолог-когнитивист

По Бартлетту, испытуемые обращались так с историей для того, чтобы она ложилась в уже имевшиеся у них представления о мире. Иными словами, процесс памятования всегда замутнен нашими ожиданиями и предубеждениями, они исподволь меняют наши воспоминания. Бартлетт опубликовал эти результаты в классическом труде «Воспоминание». В заключение он писал: «Память человека на событие есть смесь информации, зашифрованной в то время, когда оно произошло, а вдобавок — умозаключения, основанные на знании, ожиданиях, убеждениях и отношении».

2007

Элинор Магуайр с коллегами сообщают, что пациентам с амнезией трудно представлять будущее

2007

Никола Клэйтон с коллегами показывают, что птицы умеют планировать будущее

Птичьи планы на будущее

Способность отправляться в умозрительное путешествие во времени или планировать будущее, как считалось до недавнего времени, присуща только человеку. Однако последние исследования показывают, что и у других биологических видов есть такие навыки.

В 2007 году группа ученых из Кембриджа опубликовала исследование, в котором калифорнийских соек содержали в просторных клетках, поделенных на три отсека. Птиц в каждом отсеке кормили разными видами пищи и по разным графикам, и те быстро поняли, что обитающих в отсеке «без завтрака» кормят реже остальных. Прошел тренировочный период, и птицам во всех трех отсеках вдруг дали кедровых орешков. Исследователи обнаружили, что птицы в отсеках «без завтрака» чаще, чем в других, сберегали орехи про запас, а это, вероятно, означает, что птицы в этих отсеках предполагали дальнейшее будущее с урезанным рационом.

Будущее несовершенное Почему же память — восстановление, а не честное воспроизведение прошлого? Догадки начали возникать несколько лет назад — из исследований пациентов с глубокой амнезией. В одном исследовании, опубликованном в 2007 году, лондонские ученые попросили пятерых пациентов с амнезией и десятерых здоровых (контрольная группа) сконструировать новые переживания в ответ на короткие фразы, описывающие простые бытовые сценарии, например: «Вообразите, что вы лежите на белом песчаном пляже у прекрасного тропического залива» или «Представьте, что вы стоите в главном зале музея в окружении множества экспонатов».

Участники из контрольной группы легко справились с этой задачей. А вот пациенты с амнезией, напротив, с трудом представляли себе свои возможные переживания и смогли выдать лишь фрагментированные, хаотичные ощущения, не связанные с предложенными контекстами. «Я слышу крики чаек и шум моря, — сказал один из пациентов. — Чувствую песчинки между пальцев и слышу гудки кораблей, но больше ничего. Вижу лишь, что небо синее, а песок белый… я будто парю над поверхностью».

Все пятеро пациентов с амнезией имели повреждения гиппокампа — структуры височной доли мозга, чье функционирование необходимо для создания воспоминаний. Из-за ее поражения способность пациентов вспоминать события прошлого существенно ухудшена. Однако из этого

исследования — равно как и из последующих — стало ясно, что пациенты с таким расстройством не могут представить и будущее. Из этого может следовать, что вспоминанием прошлого и представлением будущего заняты одни и те же механизмы и области мозга. Сканирование мозга здоровых людей подтверждает это предположение: при вспоминании прошлых событий и воображении будущих активируются перекрывающиеся нейронные сети мозга и гиппокамп.

‘Памяти требуется не просто датировать некое событие в прошлом. Это событие должно быть датировано в моем прошлом’

Уильям Джеймз (1890)

Вообще-то, некоторые современные исследователи считают, что симуляция будущего есть главная функция автобиографической памяти, и именно из-за этого память эволюционировала как восстановительный, а не воспроизводительный процесс. Именно благодаря восстановительной природе автобиографической памяти мы можем представлять события, которых еще не случилось. Гипотетические симуляции будущих событий мы собираем из фрагментов воспоминаний о событиях, уже произошедших в нашем прошлом. Это позволяет нам предсказывать — с той или иной долей точности, — как будет разворачиваться нечто еще не пережитое, и исходя из этого прогноза решать, какие действия лучше всего предпринять, когда придет пора.

В сухом остатке

Память хранит прошлое и показывает будущее

25 (Ре)консолидация памяти

Свежесформированные воспоминания необходимо стабилизировать, им нужно придать плотности, или консолидировать, и тогда они проживут долго; недавние исследования показывают, что этот процесс происходит «оффлайн», т. е. когда мы спим. Сохраненные воспоминания далее укрепляются, или «реконсолидируются», — становятся временно неустойчивыми, и их можно видоизменить или как-то иначе на них повлиять.

Формирование воспоминания, как сейчас считают, связано с усилением синаптических связей в нейронной сети, а деятельность внутри этой сети есть «след» памяти. Стоит следу памяти возникнуть, как его отправляют в долговременное хранение — это и называется консолидацией, в процессе которой след памяти реактивируется за период времени от нескольких минут до нескольких часов после того, как он изначально возник.

Недавнее исследование показывает, что воспоминания консолидируются в течение определенных фаз сна, а депривация сна может оказывать разрушительное воздействие на функционирование памяти. В другой работе сообщается о прежде неизвестном механизме под названием «реконсолидация» — в ходе него воспоминания извлекаются из долговременного хранения для дополнительного укрепления. Во время реконсолидации след памяти становится неустойчивым и подвержен изменениям.

А теперь в постель...* У связи между сном и памятью долгая история. Еще в I веке н. э. римский ритор Квинтилиан отмечал, что сладкий ночной сон укрепляет воспоминания, а первые исследования этого явления увидели свет в середине 1920-х годов.

* Фраза, завершающая многие дневниковые записи видного политического деятеля Великобритании Сэмюэла Пипса (1633–1703); расхожее выражение в англоязычном мире.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1801
Дэйвид Хартли выдвигает предположение, что сон может менять связи, ассоциирующиеся с памятью

1924
Джон Дженкинз и Карл Далленбах публикуют первые подтверждения того, что сон поддерживает производство памяти

1953
Юджин Азеринский с помощью ЭЭГ выделяет фазу БДГ

За последнее десятилетие накопились и данные, ясно показывающие, что сон играет важную роль в консолидации свежих воспоминаний.

Сон — загадочная штука, но еще с 1950-х мы знаем, что он состоит из отчетливо выраженных фаз, и каждая характеризуется определенным излучением мозга (*см. вставку*). Во время сна мы переходим от фазы быстрого движения глаз (БДГ)* к фазе небыстрого движения глаз (НБДГ), и на каждой стадии происходит консолидация памяти определенного типа.

* В русскоязычной литературе встречается обозначение «*REM*-сон», от англ. *rapid eye movements.*

Некоторые объяснения можно почерпнуть из исследований пространственно-ориентационных навыков у животных. Гиппокамп и прилегающие к нему участки содержат не менее трех типов клеток, кодирующих карты окружающей среды и воспоминания о том, как в ней перемещаться; активность этих участков можно зафиксировать при помощи микроэлектродов, вживленных в мозг свободно движущихся животных.

Циклы сна

Сон состоит из пяти стадий, каждая характеризуется своими особыми волновыми ритмами мозговой активности, определяемыми на электроэнцефалограмме (ЭЭГ):

Стадия 1. Длится примерно 5–10 минут, характеризуется низкоамплитудными и низкочастотными тета-ритмами (*см. стр. 165*).

Стадия 2. Длится около 20 минут, температура тела снижается, сердечный ритм замедляется, а в мозге наблюдаются быстрые всплески активности, именуемые сонными веретенами.

Стадия 3. Переход от легкого к глубокому сну, характеризуется низкочастотными дельта-ритмами.

Стадия 4. Глубокий сон. Длится примерно полчаса, также характеризуется дельта-ритмами.

Стадия 5. Фаза БДГ, характеризуется движением глазных яблок и учащением дыхания и мозговой активности. На этой стадии человек видит сны.

Засыпая, мы входим сначала в первую стадию, затем во вторую, третью и четвертую. После чего возвращаемся к третьей, потом ко второй, и лишь затем к фазе БДГ. Далее чередуются вторая, третья и БДГ-стадии, и этот цикл за 8-часовой сон повторяется 4–5 раз.

1968
Первые работы, показывающие, что реактивированные долговременные воспоминания неустойчивы

2000
Карим Надер с коллегами показывают, что вмешательство в реконсолидацию памяти может «стирать» воспоминания о страхе у крыс

2010
Первое сообщение об успешном стирании травматических воспоминаний у людей

Затем, пока животное спит, гиппокамп реактивирует следы памяти и воспроизводит в точности тот же порядок действий, что и наяву. Томографические исследования показывают, что следы памяти человека тоже реактивируются в период сна, и, вероятно, именно это порождает сновидения.

В недавних экспериментах участников попросили запомнить список предметов или обучиться некоему двигательному навыку, после чего на следующий день проверили качество запоминания. Участники, которым дали ночью поспать, обычно справлялись с одной и той же задачей лучше не спавших, потому что сон усиливает консолидацию памяти. Аналогично участники, хоть немного поспавшие после обучения, обычно помнят информацию лучше, чем бодрствовавшие.

«Протяженности одной ночи хватит, чтобы премного укрепить силу памяти»

Квинтилиан (около 35 — около 96), римский ритор

Из этих наблюдений следует, что недостаток сна вреден для памяти. В одном исследовании выявлено, что депривация сна не только мешает выполнению задач, связанных с памятью, но и затрудняет извлечение воспоминаний из памяти долговременной. Недавно было экспериментально показано, что недостаток сна усиливает нашу склонность создавать ложные воспоминания, а это, в свою очередь, имеет очевидные последствия для методов допроса подозреваемых, когда тем подолгу не дают спать.

(Не)устойчивый фундамент Реконсолидация памяти – процесс, при котором воспоминания извлекаются из долговременного хранилища для дальнейшего укрепления. Вскоре после извлечения, однако, след памяти делается неустойчивым, и из-за этого может быть нечаянно видоизменен или намеренно искажен. Реконсолидацию впервые описали в 2000 году; тогда же предложили и механизм, лежащий в основе реконструктивной природы памяти, поскольку в процессе реконсолидации в уже существующие следы памяти может быть интегрирована новая информация. Тем не менее представление о реконсолидации по-прежнему противоречиво, поскольку исследователи издавна считали, что воспоминания после их консолидации остаются относительно устойчивыми.

Процесс реконсолидации можно применить с целью «стирания» воспоминаний. Если точнее, таким способом можно уменьшить эмоциональный отклик на травматические воспоминания, сделав их менее болезненными.

В 2004 году американские исследователи с помощью классического условного рефлекса обучили крыс, что определенное место в клетке связано с электрическим разрядом. И после этого крысы, возвращаясь к этой

конкретной точке, выказывали страх, даже если разряда не получали. Затем исследователи впрыснули в амигдалу крысам пропранолол, бета-блокатор, применяемый для снятия гипертензии, а амигдала как раз связана с формированием воспоминаний страха. Препарат вмешался в реконсолидацию памяти и устранил у животных отклик в виде испуга. Несколькими годами позже другая исследовательская группа сообщила, что пропранолол оказывает аналогичный эффект и на людей, и его поэтому, вероятно, можно применять для облегчения посттравматических расстройств.

Позднейшие исследования, опубликованные в 2012 году, показывают, что реконсолидацией можно управлять, ослабляя тягу бывших наркоманов к наркотику и предотвращающая их возвращение в привычную колею. Бывшие наркоманы часто испытывают тягу к наркотику, натыкаясь на предметы, ассоциирующиеся с употреблением наркотических веществ, что приводит к возобновлению привычки. Китайские ученые показывали бывшим героиновым наркоманам, согласившимся участвовать в эксперименте, пятиминутный фильм про героин и утварь, потребную для его применения, за десять минут или за шесть часов перед тем, как повторно показать им те же изображения. У тех, кто видел этот видеоряд с интервалом в десять минут, выявили уменьшение тяги к наркотику в течение следующего почти полугода. Повторное столкновение с изображениями реактивировало воспоминания о применении наркотиков, однако, поскольку самого употребления после картинок не последовало, реконсолидация воспоминаний, ассоциирующих вид наркоманской утвари с употреблением наркотиков, произошла иначе. Это ослабило ассоциацию между предметной средой наркотической зависимости и употреблением наркотиков, в результате чего тяга к наркотикам, обычно испытываемая при виде этих предметов, ослабла.

В сухом остатке

Воспоминания можно усилить или видоизменить, ими можно управлять

26 Принятие решений

Принятие решений сопряжено с оценкой рисков и поощрений*, связанных с выбором того или иного способа действовать и реализацией наиболее выгодного варианта. Нейробиология только-только начинает разбираться с механизмами процесса принятия решений. Обращая особое внимание на роль эмоций, современная наука ставит под сомнение традиционное отношение к этому процессу как сугубо рациональному.

* В русскоязычной литературе часто встречается термин «награда».

Мы ежедневно принимаем множество решений. Что съесть на завтрак? Пойти или нет с коллегами в паб? В конечном счете, все наши решения — экономические, они основаны на оценке относительных рисков и поощрения всех имеющихся возможных действий. Современная нейробиология лишь сейчас начинает понимать механизмы, задействованные в этих процессах, и подвергать сомнению классические представления о том, как мы принимаем решения.

Нейробиологическое принятие решений Исследования мозга показывают, что нейромедиатор дофамин играет важную роль в нашей оценке потенциальных поощрений тех или иных вариантов действий. В первых работах на эту тему ученые вырабатывали у грызунов классический условный рефлекс — тренировали у них поведение, приводящее подопытных к еде, воде или различным предметам, не дающим поощрения, после чего с помощью электродов меряли отклик дофаминергических нейронов в среднем мозге на каждый из предложенных стимулов. Эти эксперименты показали, что клетки увеличивают активность в ответ на стимулы, обещающие поощрение, из чего следует, что клетки с помощью дофамина кодируют поощрение и важность выбора. Изучение человеческого мозга с помощью фМРТ обнаружило сходные механизмы.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1836
Издание «Некоторых тревожных вопросов политической экономии» Джона Стюарта Милла

1981
Дэниэл Канеман и Эймос Тверски описывают эффект фрейминга

1982
Экспериментальные экономисты разрабатывают игру «Ультиматум»

Более свежие исследования показывают, что в процессе принятия решений необходимы два цикла мозга. Один — нейронная система, оценивающая риски и поощрение, — состоит из дофаминергических нейронов среднего мозга, а также трех различных областей лобных долей: вентромедиальной префронтальной, фронтополярной и орбитофронтальной. Второй — сеть, состоящая из дорсолатеральной префронтальной коры и передней части поясной извилины, которые вместе, судя по всему, выполняют важную роль в когнитивном контроле, т. е. в задачах типа выявления ошибок, сосредоточенности или переключения внимания.

Исследователи изучили результаты сканирования мозга и поведенческие данные примерно 350 пациентов с поражениями разных областей фронтальной коры. Обнаружилось, что пациентам с повреждениями дорсолатеральной префронтальной коры необычайно трудно сосредоточиться. В задачах на определение ценности они легко отвлекались на все предложенные варианты решения, казавшиеся им настолько многочисленными, что пациенты затруднялись выбрать что-нибудь одно. С другой стороны, пациенты с повреждениями вентромедиальной префронтальной коры затруднились оценить риски и поощрения, связанные с каждым отдельным решением. Они предпочитали мгновенное поощрение отсроченному и не обращали внимания на риски, когда воспринимали потенциальное вознаграждение как значительное.

Гипотеза соматических маркеров

Согласно гипотезе соматических маркеров эмоции и чувства пробуждают в подсознании физиологические сигналы, или «маркеры», видоизменяющие наш отклик на раздражители путем тонких воздействий на мозг. Этот вывод был сделан из наблюдения, что пациентам с пораженной вентромедиальной префронтальной корой не только трудно принимать решения, но и переживать эмоции.

Нейроэкономика Экономисты традиционно считали принятие решений рациональным процессом, в котором мы выбираем между предложенными вариантами, систематически взвешивая относительные риски и вознаграждения каждого, после чего предпринимаем действия с прогнозируемой наибольшей ценностью.

1991
Антонио Дамасио выдвигает гипотезу соматических маркеров

2010
Бенедетто де Мартино с коллегами исследуют влияние пораженной амигдалы на страх потери денег

Игра «Ультиматум»

Это любимая потеха нейробиологов и экономистов, изучающих механизмы принятия решения; обычно она предполагает следующий сценарий (или его варианты). Вам говорят, что вы получите 20 фунтов, которые сможете разделить с другом. Вы в ответ предлагаете способ дележа. Ваш друг либо соглашается с вашим вариантом и берет деньги, либо отказывается, и тогда никто из вас двоих денег не получает. Согласно теории полезности вы предлагаете другу минимально возможную сумму — допустим, 1 фунт, а остальное себе. Друг принимает, потому что, хоть вы и не слишком щедры, это всяко лучше, чем ничего. На самом же деле люди обыкновенно готовы отдать больше минимальной суммы и сами отказываются от суммы, которая кажется им слишком маленькой. Возможно, это происходит из-за эмпатии — способности воспринимать ситуацию с позиций другого человека, что тем более подтверждает роль эмоций в принятии решений.

Игра «Ультиматум»

Однако классические воззрения, именуемые теорией полезности, не учитывают роль интуиции и эмоций. Нейроэкономика – формирующаяся междисциплинарная область исследования, соединяющая методы экономики, поведенческой психологии и нейробиологии; она стремится разобраться с недостатками взглядов экономистов на принятие решений человеком.

В классическом эксперименте 1981 года продемонстрирована важность эмоций и интуиции в процессе принятия решений. Показано, как на осуществляемый нами выбор влияет явление под названием «фрейминг», или представление одной и той же задачи по-разному. В эксперименте двум группам участников предложили гипотетически опасный для здоровья сценарий: США готовятся к вспышке некоего заболевания. Одной группе предоставили выбор из двух программ: программа A, по которой спасутся 200 человек из 600, и программа B, по которой с вероятностью один к трем спасены будут все 600 человек.

Другой группе предложили такой выбор: программа C, при которой погибнут 400 человек, и программа D, при которой с вероятностью один к трем не умрет никто.

Статистически программы A и C идентичны, равно как и программы B и D. Однако почти три четверти участников из первой группы выбрали программу A, тогда как примерно столько же участников из второй группы выбрали программу D. Точная постановка задачи повлияла на решение испытуемых: последствия, предложенные утвердительным (позитивным) способом — число жизней, которые можно спасти, — показались более надежным вариантом, но стоило предложить выбор в отрицательных (негативных) терминах — в количествах ожидаемых смертей, — как участники выбирали более рискованный вариант.

«Человек... делает то, что принесет ему наибольшее количество средств, удобств и роскоши с наименьшей затратой труда»

Джон Стюарт Милл (1806–1873), британский философ, экономист, политический деятель

Дальнейшие исследования, произведенные на пациентах с поражениями мозга, также подтвердили важность роли эмоций в принятии решений. Частенько говорят, что финансовые рынки движимы жадностью и страхом, то же верно и для личных бюджетов. Большинство из нас не желает терять деньги и принимает решения, направленные на минимизацию этих рисков. В 2010 году исследователи изучили двух пациентов с редкой формой поражения мозга, вызывающей отвердение и отмирание амигдалы. Амигдалу связывают с переработкой эмоциональных данных, особенно страха. Пациенты с поврежденной амигдалой буквально бесстрашны и в экспериментальных азартных ставочных задачах принимают крайне рискованные решения.

В сухом остатке

Как мы выбираем наилучшее решение?

27 Поощрение и мотивация

Мозг располагает специальной системой поощрения, мотивирующей нас добывать необходимое для выживания, а именно пищу и воду. От употребления еды и воды мы получаем удовольствие, а следовательно мотивированы на повторение действий и поведения, приводящих нас к ним.

Внутренние потребности нашего тела определенным образом направляют наше поведение, ведут нас к тем или иным конкретным целям, восполняющим наши нужды. Голод мотивирует нас добывать еду, жажда – воду, холод – теплое место. Еда и питье необходимы для нашего выживания, и наши ощущения от них мы воспринимаем как удовлетворительные и приятные, и потому у нас возникает естественное желание повторять поведение, позволяющее вновь и вновь получать эти переживания. Сексуальное поведение и воспитание детей также доставляют удовольствие – они обеспечивают выживание вида.

Мотивационные состояния типа голода и жажды соответствуют физиологическим состояниям тела. Гипоталамус (вместе с «главной железой» – гипофизом) контролирует поведение, связанное с питанием, а также терморегуляцию, и координирует мозговую деятельность при помощи гормональной системы и системы поощрения мозга, состоящей из структур среднего мозга, лимбической системы и коры – с их участием каждому виду поощрения присваивается ценность и статус. По этой шкале измеряется то, на что мы готовы пойти ради получения того или иного поощрения: ради поощрения с высоким статусом мы выделяем большой ресурс, ради того, что статусом пониже, – поменьше. Наркотики, вызывающие привыкание, взламывают систему поощрения, а мотивацию подкашивают некоторые психические заболевания.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1954

Джеймз Олдз и Питер Милнер сообщают, что электрическая стимуляция участков мозга крысы переживается ею как поощрение

1957

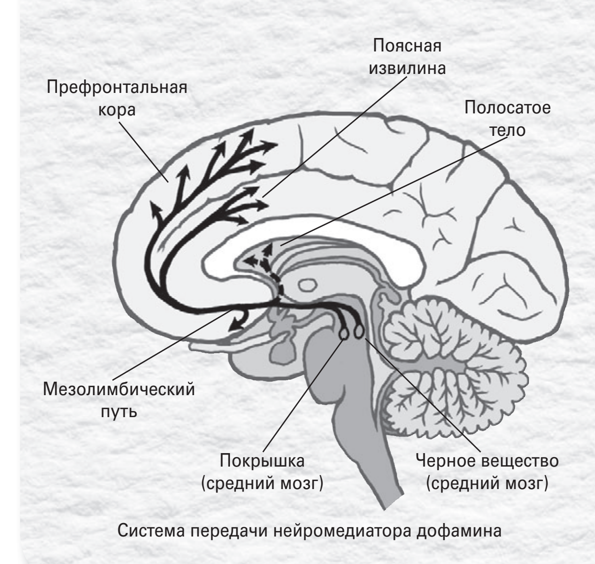
Арвид Карлссон открывает дофамин

Добро пожаловать в центр удовольствия Главный компонент системы поощрений в мозге – нейронный путь, именуемый мезолимбическим. Он состоит из нейронов в среднем мозге, производящих нейромедиатор дофамин и простирающих свои аксоны к клеткам – с которыми образуют синапсы – в другой области среднего мозга под названием «покрышка». Нейроны вентральной области покрышки протягиваются до участка лимбической системы, именуемой прилежащим ядром.

Когда эти клетки активируются, выделяется дофамин, что приводит к переживанию удовольствия. Аксоны, отходящие от нейронов в прилежащем ядре, образуют медиальный переднемозговой пучок, проникающий

Молекула удовольствия

В человеческом мозге около 500 000 дофаминергических нейронов, расположенных в среднем мозге. Эти нейроны образуют два нейронных пути, один из которых мезолимбический, или путь поощрения. Он состоит из клеток, простирающих аксоны из черного вещества к покрышке среднего мозга, которая в свою очередь содержит дофаминергические нейроны, проникающие в префронтальную кору.



Система передачи нейромедиатора дофамина

Нигростриарный путь — это клетки, тянущиеся из черного вещества к полосатому телу, и вовлечен в производство движений; при болезни Паркинсона он отмирает и вызывает характерные двигательные симптомы, которые можно облегчить при помощи лекарства леводопа, которое клетки мозга используют для производства дофамина.

Дофамин иногда называют «молекулой удовольствия» — из-за его роли в механизмах поощрения, но он также кодирует и неприятные переживания, а в префронтальной коре участвует в процессах внимания и рабочей памяти.

2001

Роберт Маленка с коллегами обнаруживают, что одной дозы кокаина крысе хватает для развития синаптической пластичности в дофаминовых нейронах среднего мозга

2010

Нора Волкоу с коллегами показывают, что СДВГ связан с дисфункцией системы поощрения

в участок фронтальной доли под названием «орбитофронтальная кора». Именно в этой части мозга присваивается статус разным видам поощрения и здесь же переживается предвкушение поощрительного эффекта.

Все приятные переживания вызывают выброс дофамина нейронами среднего мозга в прилежащее ядро. Этот участок мозга часто называют «центром удовольствия». Занятие чем-нибудь приятным доставляет нам удовольствие и инициирует процесс обучения, закрепляющий нашу тягу к этой конкретной цели, и усиливает воспоминания о ситуациях, предвещающих получение этого опыта. Всё это укрепляет повадки, ведущие к получению поощрения, тем самым увеличивая вероятность повторения тех же действий в будущем, что для нашего выживания хорошо.

> **‘Мотивация — это… всевозможные тяготения и отторжения… которые побеждают нашу леность и подвигают нас, воодушевленных или неохотных, к действию’**
>
> Джордж Миллер (1962)

Пристрастия и болезни Иногда систему поощрения заклинивает. Наркотики, вызывающие привыкание, к примеру, взламывают систему поощрения мозга, и наркоман переоценивает нечто потенциально вредоносное и жертвует другими поощрениями, утоляющими физиологические и репродуктивные нужды. Подобно естественным поощрениям в виде пищи и секса, наркотики, вызывающие привыкание, производят приятный эффект, усиливая так или иначе выделение дофамина в прилежащее ядро, что приводит к эйфорическим переживаниям.

Кокаин предотвращает обратный захват дофамина прилежащим ядром, продлевая эффект, производимый этим нейромедиатором в синапсах пути поощрения. Амфетамины также повышают уровень дофамина в прилежащем ядре, стимулируя его выделение. А никотин – наркотик, вызывающий самое сильное привыкание, модулирует выделение дофамина косвенно. Он связывает ацетилхолиновые рецепторы в прилежащем ядре, усиливая выделение дофамина.

Длительное применение большинства наркотиков подавляет работу цикла поощрения в мозге и приводит к привыканию: потребляющему нужно все большее количество наркотика для достижения эйфорического эффекта. Поскольку антагонисты дофаминовых рецепторов, блокирующие действие дофамина путем конкурентного связывания с его рецепторами, могут уменьшить тягу к некоторым наркотикам, фармацевтические компании пытаются разработать такие вещества и применять их как лекарства от зависимости.

Научение играет значительную роль в развитии пристрастия. Одной дозы кокаина достаточно, чтобы развить у синапсов в вентральной области покрышки среднего мозга пластичность, тем самым закрепляя путь выделения дофамина в прилежащее ядро. В результате поощряющий эффект наркотика усиливается и провоцирует тягу, возникающую при абстиненции. Последовательность действий, связанных с получением наркотика, также подкрепляется, что приводит к навязчивому желанию добыть наркотик. Наркотическая зависимость, кроме того, связана с навыком ассоциировать прием наркотиков со специфическими раздражителями — предметной средой наркопотребления или определенными ситуациями, и соприкосновение с этими раздражителями реактивирует путь поощрения, что заставляет наркомана искать наркотик и увеличивает вероятность возвращения «завязавшего» к старой привычке.

Система поощрения в мозге и мотивационные состояния тела меняются и при некоторых психических расстройствах. Серьезная депрессия, например, характеризуется ангедонией — неспособностью получать удовольствие от деятельности, которая большинству людей приятна. Как следствие, пациентам в депрессии не хватает мотивации заниматься какой бы то ни было деятельностью. Система поощрения настроена иначе и у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивностью (СДВГ). Дети с этим расстройством, которое характеризуется невнимательностью, иногда сопровождающейся повышенной непоседливостью и импульсивностью, нуждаются в более масштабных поводах для изменения поведения, нежели остальные, им трудно откладывать поощрение, и они предпочитают немедленное маленькое удовольствие большому, но отсроченному.

Хотя в понимании механизмов, обусловливающих поощрение и мотивацию, мы порядком продвинулись, в этом очень многое еще предстоит понять. Ясно, что дофамин играет ключевую роль в этих процессах, и, судя по всему, важно разобраться, как люди научаются извлекать поощрение из пагубных вещей. Дальнейшие исследования в этой области могли бы помочь ученым разработать эффективные способы лечения зависимостей и различных психических расстройств, при которых система поощрения идет вразнос.

В сухом остатке
Что движет нашим поведением?

28 Восприятие речи

Традиционно считалось, что в левом полушарии мозга расположены две отдельные области, отвечающие за речь: одна занята ее производством, а вторая — распознаванием. Это классическое представление XIX века основано на изучении пациентов с поражениями мозга вследствие инсульта, однако современные исследования показывают, что речевые нейронные цепи куда сложнее, чем виделось когда-то.

В 1860-х годах пациента по фамилии Леборн перевели в клинику к французскому врачу и анатому Пьеру-Полю Брока. За десять лет до этого Леборн перестал владеть правой рукой, и с тех пор другие пациенты звали его Тан, потому что, кроме этого бессмысленного слога, который он повторял вновь и вновь, Леборн не мог произнести ничего. Он умер через несколько дней после перевода в клинику Брока, тот исследовал мозг усопшего и обнаружил поражения в левой лобной доле. Позднее он изучил пациентов с похожими симптомами и, производя вскрытие, заметил у всех повреждение одного и того же участка мозга.

Вслед за этими открытиями немецкий врач Карл Вернике описал еще двоих пациентов, пострадавших от инсульта. В отличие от пациентов Брока, эти могли говорить, но произносили бессмысленные слова и фразы, а также утеряли способность понимать устную речь окружающих. Вернике вскрыл мозг одного такого пациента после его смерти и обнаружил поражение в другой области, ближе к заднему краю левой височной доли.

Участки, выявленные Брока и Вернике, в результате получили их имена. Наблюдения этих ученых расширили представление о локализации функций мозга, т. е. науке стало известно о существовании

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1861
Пьер-Поль Брока обнародует результаты исследования пациентов после инсульта

1881
Карл Вернике описывает свои наблюдения за пациентами-инсультниками, неспособными понимать устную речь

1949
Первое медицинское описание синдрома иностранного акцента

отдельных областей, занятых своим особым делом (это представление подрастеряло авторитет, когда набрала популярность френология), а также укрепили представление о том, что левое полушарие «доминантно», поскольку поддерживает речевые функции. Кроме того, они привели к формированию классической нейробиологической модели языка, согласно которой центр Брока отвечает за производство речи, а поражение его приводит к афазии Брока — неспособности формировать речь. Центр Вернике, с другой стороны, стали ассоциировать с пониманием языка, а неполадки на этом участке называют афазией Вернике.

Эта модель в свое время вызвала немало споров. Одни современники Брока отмечали, что травмы центра Брока не всегда ведут к расстройствам речи, а другие сообщали, что расстройства речи возникают при поражениях участков мозга за пределами центра Брока. Нынешние исследовательские методики подтверждают: Брока и Вернике были несколько неточны в анатомических описаниях, а обе речевые области имеют функции куда более сложные, чем изначально им приписывалось. В наше время нейробиологи рассматривают классическую модель как крайне упрощенную. Кое-кто утверждает, что она даже затруднила исследования основ речи и что понятия «центр Брока» и «центр Вернике» утеряли всякий смысл.

> **«Невредимость третьей лобной извилины, похоже, необходима для применения навыка артикулированной речи»**
>
> **Пьер-Поль Брока, французский врач, анатом (1824–1880)**

Новые идеи от старых мозгов Центр Брока — часть двигательной системы мозга и отвечает за контроль мышц во рту и глотке, необходимых для артикуляции. Однако современные исследования показывают, что эта область также занята и другими задачами, связанными с речью. Когда умер Леборн и еще один пациент Брока, Лелон, ученый, изучив их мозги, сдал их в парижский музей.

Более 140 лет спустя исследователи подвергли эти препараты томографии по сложной визуализационной методике и выяснили, что поражены они гораздо больше той, что предполагал в свое время Брока.

Исследователи из Калифорнии в 2007 году исследовали препараты мозга Леборна с помощью МРТ высокого разрешения. Оказалось, что сильнее всего пострадал не участок, именуемый центром Брока, а тот, что находится

2000
Софи Скотт с коллегами определяют нейронный путь, связанный с усвоением звуков осмысленной речи

2007
Нина Дронкерз с коллегами применяют МРТ для изучения мозга пациентов Брока

Синдром иностранного акцента

Этот синдром — неврологическое расстройство, возникающее после инсульта, оно проявляется в речи пациента как иностранный акцент. Его считают чрезвычайно редким — менее 100 задокументированных случаев с 1940-х годов. В 2006-м, к примеру, британские газеты сообщили о случае Линды Уокер, 60-летней женщины из Ньюкасла, пережившей инсульт и начавшей после этого говорить с акцентом, который разным людям представлялся то ямайским, то франко-канадским, то итальянским. Синдром иностранного акцента на самом деле не приводит к появлению настоящего иностранного акцента. Представляется, что его появление связано с повреждением нейронных речевых цепей, что обусловливает трудности с произнесением тех или иных звуков, а также изменения в ритме и интонации. Похоже, он возникает из-за размыкания между областями, планирующими артикуляцию, и двигательными участками, производящими речь. Исследование этого синдрома может помочь понять, как небольшие изменения в речевых механизмах влияют на произносимые звуки.

непосредственно перед ним. Согласно исходным описаниям Брока, урон ограничивался только поверхностью мозга. Томограмма, однако, выявила, что поражение затронуло гораздо более глубокие слои мозга, нежели описывал Брока. Брока невооруженным глазом попросту ничего другого не заметил. К тому же он не учел, что инсульт его пациента изменил и связи между определенным им участком и другими областями мозга: МРТ пациентов с инсультом показывают, что афазия Брока может проявляться в результате повреждения мозговой структуры под названием «островок», равно как и базальных ганглиев или белого вещества под лобными долями.

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) подтвердила, что и исходные анатомические границы центра Вернике неточны и эта речевая область содержит многочисленные самостоятельные подсистемы: каждая занята различными аспектами усвоения речи. Эти исследования выявили две отдельные области внутри той, что обычно определяют как центр Вернике: одна отвечает за восприятие слов и извлечение их из памяти, а другая активизируется во время производства речи. Центр Вернике, таким образом, участвует в выполнении задач, которые прежде приписывались центру Брока. Аналогично и центр Брока, по современным представлениям, участвует в понимании речи.

Томографические исследования мозга также показывают, что область, чаще всего активизирующаяся во время восприятия речи, на 3 см ближе к передней части головы, чем исходный центр Вернике. Этот участок локализовали в 2000 году лондонские ученые; они также показали, что он реагирует на звуки вразумительной речи, но не на бессмыслицу. Эта область, судя по всему, есть часть нейронного пути, задействованного в идентификации звуков речи и слов. Другой путь, расположенный еще ближе к переду и включающий область, традиционно именуемую центром Брока, похоже, занят интегрированием чувствительных и двигательных аспектов речи.

‘Пределы моего языка есть пределы моего мира’

Людвиг Витгенштейн (1889–1951), австро-британский философ

В сухом остатке

Мозг содержит многочисленные сложные цепи, занятые обработкой речи

29 Исполнительная функция

Исполнительная функция относится к контрольной системе мозга, позволяющей нам, среди прочего, организовывать свои мысли и поведение, расставлять приоритеты и планировать задачи, а также принимать решения. Некоторые такие способности, развивающиеся в течение всего детства и отрочества, в точности предсказывают различные последствия для дальнейшей жизни.

Когнитивный контроль, также иногда именуемый «исполнительной функцией», — понятие, применяемое в психологии и нейробиологии для обозначения многокомпонентной системы, надзирающей за другими функциями высшей умственной деятельности и управляющей ими. Этот собирательный термин описывает множество процессов, включая внимание, умственную гибкость, планирование, решение задач, устное рассуждение, рабочую память и способность переключаться между несколькими занятиями.

Эта функция возникла в процессе эволюции современного ума и привязана к префронтальной коре — участку мозга, гораздо более развитому у людей, чем у их ближайших предков-приматов. Процессы, которыми она управляет, совершенно необходимы в целеполагательных действиях и способности справляться с новыми ситуациями. Именно эти процессы, как это сейчас представляется, страдают при психических и неврологических расстройствах широкого диапазона, включая болезнь Альцгеймера, СДВГ, аутизм, депрессию и шизофрению.

С середины XIX века нам было известно, что префронтальная кора — важнейший для исполнительной функции участок мозга: с того самого случая с железнодорожным рабочим Финеасом Гейджем, когда он повредил себе лобную долю и потерял способность принимать решения (*см. стр. 72*).

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1927
Первое применение парадигмы переключения между задачами в лабораторной практике

1935
Джон Ридли Струп описывает эффект, позднее получивший его имя

1962
Издание книги «Высшие корковые функции и их нарушения при локальных поражениях мозга» Александра Лурии

Дальнейшие исследования ветеранов Первой мировой войны с поражениями лобных долей показали, что эти раненые с большим трудом обучаются новым навыкам. Данные наблюдения привели в конце концов и к пониманию, что исполнительная функция важна для абстрактного, высшего мышления.

Теории исполнительной функции В 1960-х годах советский нейропсихолог Александр Лурия выдвинул предположение, что лобные доли отвечают за программирование, отслеживание и регулирование нашего поведения. Эту значимую мысль недавно переформулировали и ловко поименовали «контролирующей системой внимания». Согласно этой модели исполнительная функция привлекает множество взаимодействующих между собой подсистем, координирующих наши цели и действия. Она активна, пока мы действуем в пределах привычных сценариев, и следит за соперничающими автоматическими откликами, отбирая наиболее подходящий и подавляя остальные. Когда же мы сталкиваемся с новой ситуацией, включается контролирующая система и переключает внимание, необходимое для выработки подходящих новых откликов, а также обеспечивает дополнительное подавление и активацию необходимых автоматических откликов.

> **«У нормальных взрослых лобные доли контролируют поведение частично за счет контроля уровня активации, вызываемой разными раздражителями»**
>
> **Александр Лурия (1902–1977), советский нейропсихолог**

Еще одна значимая модель, предложенная в 2001 году, основывается на представлении, что обработка поступающей в мозг информации — конкурентный процесс. Эта модель приписывает префронтальной коре роль слежения за последовательностями активности в многочисленных системах мозга, включая занятые вниманием, памятью, эмоциями и движениями, и поддерживания тех последовательностей, которые имеют отношение к текущей цели и действиям, необходимым для ее достижения. Для этого префронтальная кора накладывает чувственные данные, внутренние состояния и двигательные реакции друг на друга и усиливает деятельность в требуемых нейронных путях для выполнения текущей задачи. Это особенно важно в случаях, когда такое наложение слабо или постоянно меняется, иными словами, — в новых ситуациях.

1972
Уолтер Мишел с коллегами обнародуют результаты теста маршмэллоу, проведенного с детсадовцами

1980-е
Тим Шэллис с коллегами выдвигают модель контролирующей системы внимания

2001
Эрл Миллер и Джонатан Коэн представляют модель исполнительной функции интегративной префронтальной коры

Эффект Струпа

Эффект Струпа — увеличение времени реагирования из-за помех восприятия. Подопытных просят прочитать названия цветов или назвать цвет, которым написано слово. В некоторых случаях эти два раздражителя не противоречат друг другу (например, слово ЧЕРНЫЙ набрано черной краской), а в некоторых они в конфликте (допустим, слово ЧЕРНЫЙ набрано красным). Если попросить испытуемого назвать цвет краски, обычно это занимает у него больше времени, когда цвет и смысл слова не совпадают. В таком случае мы обычно реагируем автоматически — прочитываем написанное, а это значит, для того, чтобы дать правильный ответ, необходимо подавить автоматический отклик, который сильнее, но не подходит к задаче, и выбрать тот, что слабее, но подходит лучше. Эффект Струпа назван в честь Джона Ридли Струпа, впервые описавшего его в 1930-х годах, и с тех пор его активно используют для проверки исполнительной функции.

Тест маршмэллоу Еще одна важная исполнительная функция — контроль импульсов, т. е. способность гасить автоматические отклики вроде тех, что возникают в тесте Струпа (*см. вставку*), или откладывать поощрение. В конце 1960-х годов группа исследователей из Стэнфордского университета разработала тест маршмэллоу для анализа способности откладывать поощрение. Этот эксперимент поставили на детях от трех до пяти лет, приглашенных из университетского детсада.

В ходе эксперимента исследователи приводили ребенка в комнату, где стоял стол, а на столе — тарелка с чем-нибудь вкусным (маршмэллоу, печеньем или кренделем). Затем малышу сообщали, что он может съесть лакомство хоть сейчас, если хочет, однако получит добавку, если выдержит искушение 15 минут. Одним детям также предоставили средства отвлечься: выдали привлекательную игрушку или предложили думать о чем-нибудь веселом и приятном, а других просто оставили в комнате без игрушки и без наставления.

Исходный эксперимент провели на 50 детях, но с тех пор через него прошло более 500 малышей. Исследователи обнаружили, что лишь меньшая часть детей слопала угощение тут же, стоило взрослому покинуть комнату. Многие выдерживали несколько минут, а примерно треть смогла одолевать искушение до конца и получить второе лакомство. Некоторые закрывали глаза ладошками, чтобы не видеть угощения, а другие принимались пинать стол ногами или дергать себя за волосы, лишь бы отвлечься.

Тест маршмэллоу задумывался как одноразовое исследование, но в итоге вылился в длительный эксперимент, в котором ученые смогли отследить во взрослой жизни более трети первых участников. Многочисленные дальнейшие исследования первых участников 40 лет спустя показали, что способность откладывать вознаграждение в юные годы предвещает успех во взрослой жизни. К примеру, протяженность ожидания, на которое ребенок был способен в детстве, показала хорошую корреляцию с результатами его контрольных: тот, кто мог ждать дольше, получал в школе лучшие оценки.

Другие отсроченные исследования показали: чем дольше ребенок мог выдерживать искушение, тем выше его образовательные достижения в целом, его чувство собственного достоинства и способность справляться со стрессом во взрослой жизни. С другой стороны, те, кто предпочел в исходном эксперименте мгновенное поощрение, с вероятностью примерно 30% набрали во взрослом возрасте избыточный вес и имели бо́льшую предрасположенность к увлечению алкоголем или наркотиками, а также к различным умственным расстройствам.

В сухом остатке

«Контролер» мозга, надзирающий за другими умственными процессами и управляющий ими

30 Миграция клеток и аксональное наведение

Развитие мозга — процесс в высшей степени динамический и связан с массированным перемещением миллиардов нервных клеток. Незрелые нейроны мигрируют от места зарождения в развивающемся мозге и, добравшись до точки назначения, пускают нервные волокна, которые тянутся к другим клеткам и создают с ними связи.

В процессе развития стволовые клетки эмбриональной нервной системы делятся и порождают громадное количество незрелых нейронов. Те далее массированно мигрируют и создают зачатки головного и спинного мозга. Когда их перемещение окончено, нейроны выпускают из себя два вида нервных волокон — аксоны и дендриты, которые растут и образуют синапсы с другими нейронами, формируя сложные нейронные цепи зрелого мозга. Миграция клеток и рост аксонов и дендритов повинуются одним и тем же простым механизмам: и то и другое требует комбинации химических сигналов, задающих направление движения клеток и роста волокон вдоль нужных путей.

Чудесное странствие На ранних стадиях развития нервная система состоит из полой трубки, чьи стенки содержат клетки радиальной глии. Эти клетки делятся с разной скоростью вдоль всей длины нервной трубки, и на одном ее конце образуется головной мозг, а на другом — спинной. Радиальные глиальные клетки имеют единственное волокно, проницающее нервную трубку насквозь, а их тела располагаются ближе к внутренней поверхности трубки, в области,

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1868
Вильгельм Хис выделяет клетки нервного гребня

1890
Сантьяго Рамон-и-Кахаль приводит первое описание конуса роста

1910
Росс Хэррисон наблюдает движение конусов роста в чашке Петри

Маршруты иных миграций

Клетки мозга — не единственные мигранты тела. Нервный гребень — популяция мигрирующих клеток, происходящих из области вблизи верхушки нервной трубки. Миграция клеток нервного гребня возникает по нескольким отчетливым путям и механизмам, сходным с задействованными в аксональном наведении и миграции клеток мозга; эта миграция порождает громадное разнообразие нейронных и не-нейронных структур. Клетки нервного гребня в верхней части нервной трубки производят нейроны черепных нервов, а также кости и соединительные ткани лица; клетки нервного гребня в средней части нервной трубки порождают первичные сенсорные нейроны и нейроны симпатической нервной системы; клетки нервного гребня из других участков нервной трубки образуют, среди прочего, нейроны кишечника, пигмент-содержащие клетки — меланоциты, а также ткань, отделяющую аорту от легочной артерии.

именуемой желудочковой. Здесь клетки делятся и производят незрелые нейроны, которые мигрируют через стенки нервной трубки к ее поверхности.

В процессе этой так называемой «радиальной миграции», открытой в начале 1970-х, незрелые нейроны прикрепляются к волокну радиальной глиальной клетки, которая их произвела, после чего ползут вдоль нее, подобно амебе. Далее незрелые нейроны прибывают в развивающийся головной мозг последовательными волнами и формируют характерные слои коры головного мозга (*см. стр. 5*), причем каждая последующая волна прокатывается сквозь предыдущую. Однако точная связь между местом «рождения» клетки и конечным пунктом ее назначения по-прежнему неясна – клетки, производимые в одной и той же части развивающегося мозга, могут оказаться в разных областях зрелого органа.

Не все клетки мигрируют таким манером. Гранулярные клетки мозжечка, к примеру, производятся структурой под названием «ромбическая губа», расположенной на кромке отверстия крыши нервной трубки. Незрелые гранулярные нейроны покидают ромбическую губу и перемещаются к внешней поверхности нервной трубки, после чего разворачиваются и мигрируют к развивающемуся мозжечку.

1972

Паско Ракич описывает механизм радиальной миграции

2001

Такэси Канэко с коллегами показывают, что радиальные глиальные клетки выполняют в развивающемся мозге функции стволовых

Первопроходцы тела Юный нейрон, добравшись до места своего назначения, распускает аксоны и дендриты в сторону других нейронов и устанавливает с ними связи. И это целое дело: в зрелом мозге содержится примерно квадриллион связей, и все они, чтобы работать как положено, должны быть установлены правильно. Более того, некоторые нервные волокна протягиваются на расстояния до нескольких футов или даже больше. Как именно создается эта изощренная избирательность нервных связей — все еще предмет изучения, однако основные механизмы уже довольно понятны. Дальнейшее постижение этих механизмов — увлекательнейшая штука, поскольку может дать исследователям знание, как регенерировать нервные волокна, порванные у людей с травмами позвоночника.

«Поначалу создается множество несовершенных связей и возникают многие ошибки распределения... Однако со временем эти несообразности исправляются»

Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1928)

Из сотен исследований, произведенных за последние 20 лет, мы знаем, что мигрирующие клетки и растущие аксоны, двигаясь по развивающейся нервной системе, улавливают химические сигналы окружения. Большая часть этих «хемотаксических» сигналов — белки, синтезируемые в определенных точках и выделяемые для образования концентрационного градиента; иными словами, их концентрация выше всего там, где находится их источник, и она падает по мере удаления от него.

Растущие волокна и мигрирующие клетки засекают этот градиент концентрации и откликаются изменением своего пути следования. Волокна, проходящие тот или иной нейронный путь первыми, называются пионерскими. Идущие следом мигрируют вдоль уже проложенных пионерскими нейронами путей и формируют пучки нервных волокон, связывающие удаленные друг от друга области мозга.

Существует несколько отдельных типов наведения, и все они помогают мигрирующим клеткам и растущим нервным волокнам найти правильный путь и держаться его.

Отталкивающие сигналы обычно выделяются в начале миграционного пути и, как и подсказывает их название, помогают клеткам и волокнам отправиться в путь, выталкивая их вон. Маршрут движения сопровождается разрешающими сигналами, которые поддерживают мигрирующие клетки и волокна в их перемещении. Верный путь обложен и запрещающими сигналами — они препятствуют отклонению клеток и волокон от курса. В конце пути клетки и волокна встречают притягивающие сигналы, выделяемые клетками, находящимися в точке прибытия.

Иди по знакам Кончик растущего аксона представляет собой конус роста — коническую структуру примерно в одну тысячную миллиметра в ширину, содержащую многочисленные, похожие на пальчики, протуберанцы, именуемые филоподиями. Конус роста содержит рецепторы, улавливающие многочисленные сигналы наведения, направляющие растущие аксоны в нужном направлении. С ростом нервного волокна конус роста вытягивает и втягивает филоподии, «вынюхивая» сигналы наведения. Сигналы аксонального наведения действуют как указатели, направляя конус роста к той или иной точке или подсказывая двигаться далее прямо. Каждый вид наведения запускает определенную биохимическую реакцию, которая приводит к реорганизации структурных элементов внутри конуса роста. К примеру, из-за отталкивающих сигналов у конуса роста может вмяться одна сторона и набухнуть противоположная. Это приводит к росту нервного волокна в направлении от отталкивающего сигнала.

В сухом остатке
Химические сигналы направляют миграцию нейронов и рост нервных волокон

31 Клеточная смерть

Развивающийся мозг производит громадное количество незрелых клеток, и многие позднее уничтожаются. Этот процесс, называемый программируемой клеточной смертью, — естественная часть нервного развития, находящаяся под генетическим контролем. Клеточная смерть формирует нейронные цепи, благодаря ей в них участвует нужное число клеток и определяется размер и форма мозга.

Мозг — невероятно сложный орган, состоящий из многих миллиардов нейронов. Еще внутриутробно развивающийся мозг производит примерно втрое больше нейронов, чем ему нужно, и бóльшая их часть уничтожается еще до нашего рождения. Этот процесс называется программируемой клеточной смертью, или апоптозом — от греческих слов «апо», что означает «отпадение от», и «птозис», т. е. «смерть»; «апоптоз» — это, по сути, «листопад».

Отмершие клетки — никоим образом не бракованные. Программируемая клеточная смерть — естественный процесс, разнообразно проявляющийся в развитии мозга и других органов тела. В формирующихся конечностях, к примеру, недоразвитые пальцы рук и ног срощены вместе паутиноподобной тканью — это эволюционный привет от наших водоплавающих предков. С дальнейшим развитием эта ткань отмирает и конечности принимают привычный вид.

Попасть в цель По мере созревания нервные клетки выпускают волокна, формирующие связи с другими нейронами, мышечными клетками и различными другими «мишенями». Эти целевые ткани производят небольшие количества химических веществ — так называемых трофических факторов, и от этих веществ зависит

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1890
Джон Бирд открывает программируемую клеточную смерть

1951
Рита Леви-Монтальчини и Стэнли Коэн обнаруживают фактор роста нервов

1960
Леви-Монтальчини и Коэн выделяют NGF

выживание нейронов. Согласно нейротрофической гипотезе аксоны, растущие к одной и той же целевой ткани, состязаются друг с другом за это небольшое количество трофических факторов, и программируемая клеточная смерть инициируется в тех клетках, которые не получают таких веществ в достатке.

Нейротрофическая гипотеза была предложена в 1940-х годах Виктором Гамбургером и Ритой Леви-Монтальчини на основании серии классических экспериментов. В 1930-х годах Гамбургер хирургически удалял зачатки конечностей — эмбриональную ткань, которая позднее развивается до зрелой конечности, — у зародышей цыплят и заметил, что в спинном мозге из-за этого получилось меньше чувствительных и двигательных нейронов. Напротив, подсадка дополнительного зачатка конечности привела к увеличению нейронов спинного мозга.

«Меня ко времени рождения отмерло больше, чем выжило»

Льюис Томас (1913–1993), американский врач, поэт, исследователь

Гамбургер заключил — ошибочно, — что целевая ткань производит сигнальные вещества, провоцирующие зачаточные нейроны к размножению, а затем к дифференциации на чувствительные или двигательные нейроны. Через несколько лет Леви-Монтальчини повторила его эксперименты, но обнаружила, что клетки не умирают немедленно. Они растут нормально, протягивают волокна к своим целям и отмирают непосредственно перед достижением целевых тканей. Она заключила, что клеточная смерть происходит не из-за недостатка сигнального вещества, которое подталкивает их к делению и дифференциации, а из-за нехватки вещества, поддерживающего их рост.

В начале 1940-х Леви-Монтальчини произвела серию других экспериментов, в которых привила опухоли из тела мыши развивающемуся эмбриону цыпленка. В результате нервные волокна эмбриона принялись расти к опухолям, что подтвердило мысль, что опухоль выделяет вещество, попадающее в кровеносную систему эмбриона.

Далее она изолировала чувствительные нейроны эмбриона цыпленка и растила их в чашке Петри рядом с мышиными опухолями и обнаружила, что вокруг клеток образовалось облако волокон, тянущихся к опухолям.

1986
Леви-Монтальчини и Коэн получают Нобелевскую премию за изучение NGF

1991
Ив Алэн-Бард с коллегами определяют нейротрофический фактор мозга

2002
Сидни Бреннер, Роберт Хорвиц и Джон Салстон получают Нобелевскую премию за изучение генов клеточной смерти

Значимые факторы

После открытия NGF в 1950-х годах в мозге были обнаружены и другие факторы роста, и все они играют свою важную роль в выживании и росте нейронов. Среди этих веществ, например, — нейротрофический фактор мозга (*BDNF, brain-derived neurotropic factor*), открытый в 1991 году, а также глиальный нейротрофический фактор (*GDNF, glial cell line-derived neurotropic factor*), выделенный в 1993 году. Выживание популяций нейронов зависит от разных факторов роста или их комбинаций. GDNF, к примеру, поддерживает выживание многих разных видов нейронов, включая дофаминергические нейроны среднего мозга; они отмирают при болезни Паркинсона. Это вещество, как и другие факторы роста, — белок, и исследователи с помощью современных методик молекулярной биологии изучили ген, кодирующий его. Результаты этого изучения могут помочь в разработке генной терапии болезни Паркинсона: доставленный прямо в мозг, ген *GDNF* мог бы поддержать выживание дофаминергических нейронов и тем самым облегчить симптомы или замедлить развитие заболевания.

В 1950-х годах Леви-Монтальчини вместе со Стэнли Коэном выделяла из змеиного яда вещество, которое предположительно вызывает рост нервных волокон. Ученые показали, что это вещество — белок и он может вызывать рост нервных волокон, если добавить его к незрелым нейронам в чашке Петри, но этот эффект уничтожается, если ввести противоядие. Они назвали это вещество фактором роста нервов (*NGF, nerve growth factor*). С тех пор были открыты многие другие нейротрофические факторы (*см. вставку*).

Смерть клетки Все клетки содержат несколько генетических путей, активирующих самоубийство клетки. Эти пути впервые были открыты у круглых червей и плодовых мушек, и изучают их по большей части по-прежнему в этих организмах, однако механизмы клеточной смерти очень похожи у всех биологических видов, а человеческий геном содержит эквивалентные варианты большинства генов клеточной смерти.

Программируемая клеточная смерть управляется весьма разнообразными сигналами и снаружи, и изнутри клетки; среди этих веществ — токсины, гормоны и факторы роста, вызывающие или подавляющие процесс умирания. Программируемая клеточная смерть возникает и вслед за вирусной инфекцией или травмой мозга, а также при нейродегенеративных заболеваниях.

«Двигатель» машины клеточной смерти — семейство белков-убийц под названием «каспазы», неактивная форма которых есть в любой клетке. При активации клеточной смерти каспазы принимают активную форму и действуют как молекулярные ножницы, перемещаясь вокруг клетки и уничтожая другие белки, необходимые для нормальной жизни клетки. В результате возникает череда специфических структурных изменений: клеточная мембрана раздувается, ДНК клетки фрагментируется, ядро распадается и, наконец, вся клетка разваливается на части, так называемые апоптотические тела.

После смерти клетки ее останки вычищаются. В мозге эту работу выполняют клетки-уборщики микроглии, засекающие сигналы умирающих нейронов и устремляющиеся к ним. Микроглиальные клетки опознают осколки мертвых клеток и поглощают их; этот процесс называется фагоцитозом.

В сухом остатке

Клеточная смерть — нормальная часть развития мозга

32 Синаптический прунинг

Уничтожение определенных синапсов совершенно необходимо для развития нервной системы, равно как и для нормальной деятельности зрелого мозга: он не только всю свою жизнь создает новые связи, но и разрушает старые. Такая «подрезка» (или прунинг*) чрезвычайно важна для процессов обучения и памяти; недавние исследования обнаружили поразительный механизм прунинга.

* От англ. *to prune* — прореживать, подрезать ветки деревьев или кустарников.

Образование и поддержание синаптических связей необходимы для нормального развития нервной системы. Мозг эмбриона производит громадное множество незрелых нервных клеток, которые потом обрастают аксонами и дендритами, что ветвятся и формируют затейливую сеть связей с другими клетками. Поначалу мозг создает больше связей, чем ему на самом деле требуется, после чего обрывает избыточные или неправильно сформировавшиеся синапсы, таким образом совершенствуя и развивая нейронные пути.

Но и этим дело не заканчивается: мозг продолжает формировать, видоизменять и уничтожать синапсы всю нашу жизнь. Ныне это уже общее место: обучение и память обусловлены усилением и ослаблением синаптических связей внутри нейронных сетей, а также и уничтожением синапсов. Прунинг синаптических связей в мозге, таким образом, — необходимый процесс деятельности зрелого мозга.

Обрезаем с умом Исследования образования и разрушения синапсов в основном производят на препаратах нейромышечного синапса (*см. стр. 130*), состоящего из терминали спинномозгового двигательного нейрона и мышечной клетки, с которой он формирует соединение. Во время развития аксоны двигательного нейрона отрастают

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1975

Брайен Крэгг открывает синаптическое устранение в развивающейся зрительной коре кошек

1979

Петер Хуттенлохер описывает изменение синаптической плотности в лобной коре в течение жизни человека

1993

Буржуа и Ракич публикуют данные об изменении синаптической плотности в мозге макак-резус

из спинного мозга и по мере приближения к целевой мышце ветвятся и образуют незрелые синапсы с множеством мышечных клеток, и каждая поначалу контактирует с многими аксонами разом. По мере развития, однако, большинство синапсов устраняется, и у мышечной клетки остается лишь один синапс.

Синаптический прунинг происходит повсеместно и в развивающемся мозге; один из наиболее известных примеров – зрительная система. В зрелой зрительной коре клетки образуют так называемые глазодоминантные колонки, получающие попеременно сигналы то от левого, то от правого глаза. Сначала нейроны, прорастающие в зрительную кору, образуют синапсы более-менее как попало, и соседние глазодоминантные колонки получают сигналы от обоих глаз. По мере развития многие синапсы прерываются, и формируется чередующаяся последовательность восприятия колонками. Этот процесс отчасти зависит от зрительного опыта – он тонко подстраивает зрительные нейронные пути и направляет должное образование синапсов.

Во время развития мозга синаптические связи разрываются во множестве. В зрительной коре кошек, например, между первой и пятой неделей после рождения происходит стремительное развитие, вслед за которым многочисленные синапсы уничтожаются – синаптическая плотность падает примерно на 40%.

«Обретая опыт, мозг из всей этой прорвы возможностей отбирает лишь очень маленькое подмножество»

Джефф Лихтмен, американский нейробиолог, молекулярный биолог (2012)

У обезьян пик синаптической плотности приходится на возраст между вторым и третьим месяцем, а затем, примерно со второго года после рождения, синаптическая плотность начинает быстро снижаться – в первичной зрительной коре между вторым и третьим с половиной годом жизни ежесекундно исчезает около 2 500 синапсов.

Похожие закономерности наблюдаются и в мозге человека. При рождении плотность синапсов в зрительной коре близка к той, что наблюдается у взрослых, но между вторым и четвертым месяцем она принимается быстро расти, достигая пика между восьмым и двенадцатым месяцем, когда количество синапсов достигает примерно 60% той, что есть у взрослых.

2004
Джефф Лихтмен с коллегами сообщают о сбрасывании втянутых аксонов

2010
Мари-Эв Трамблэ публикует подтверждения прореживания синапсов клетками микроглии у мышей

2011
Паско Ракич с коллегами сообщают, что синаптический прунинг продолжается у человека и после 20 лет

Доступное соединение

Нейромышечный синапс гораздо более доступен, чем меньшие по размеру и гораздо более плотно скученные нейроны серого вещества мозга, и поэтому любим исследователями, изучающими рождение и уничтожение синапсов. В этой структуре аксоны спинномозговых двигательных нейронов смыкаются с мышечными клетками и выделяют нейромедиатор ацетилхолин, стимулирующий мышечное сокращение. Изначально с каждой мышечной клеткой устанавливает связь множество аксонов, однако по мере развития большинство аксонов обрезается, пока не останется один. Судя по всему, механизм этого обрезания связей — соревновательного свойства: аксоны борются за место у мышечной клетки. Исследователи недавно разработали методику устранения одного из двух аксонов, протянутых к одной и той же мышечной клетке. В этой ситуации один аксон обычно втягивается прочь от мышцы. Ученые, однако, обнаружили, что уничтожение одного аксона вызвало повторный рост к мышце других втягивающихся аксонов — они устремлялись занять опустевшее место.

В других участках мозга уничтожение синапсов продолжается гораздо дольше. Человеческий мозг дорастает до своего полного размера примерно к десяти годам, и до недавнего времени считалось, что тогда же он достигает и полноты развития. Однако несколько лет назад исследователи произвели поразительное открытие: префронтальная кора продолжает развиваться до конца третьего десятка лет человеческой жизни. В этой области синаптический прунинг происходит все отрочество и далее и совершенно необходим для тонкой подстройки нейронных цепей, занятых в принятии решений и выполнении других сложных задач.

Уборка Для объяснения устранения нежелательных синапсов было предложено множество различных механизмов. Один, наблюдаемый у плодовых мушек, — аксональное отмирание: неиспользуемые нервные волокна чахнут и отсыхают. У млекопитающих, включая людей, замечены другие механизмы. Соперничество за вещества, поддерживающие рост, считают одним из важнейших. В некоторых частях мозга и в нейромышечных соединениях растущие аксоны соперничают за конечное количество факторов роста: с теми, кто получает вещество-сигнал роста, связь поддерживается, а с не получающими связь отмирает. Аксоны, не получающие вещество-сигнал, могут втянуться в клеточное тело, где разрушаются и перерабатываются. Ускоренная съемка образования нейромышечной

связи показывает, что аксоны могут по ходу втягивания в мышцу сбрасывать кое-какие свои части. Сброшенный материал усваивают близлежащие шванновские клетки.

За последние несколько лет набралось немало подтверждений, что клетки микроглии играют важную роль в синаптическом прунинге. Микроглия — иммунные клетки мозга, осуществляющие функции уборщиков. Они патрулируют мозг, постоянно вытягивая и втягивая похожие на пальчики отростки и проверяя другие клетки мозга на невредимость. Они улавливают сигнал бедствия от поврежденных или умирающих нейронов и отвечают на него, перемещаясь к месту аварии и прибирая весь клеточный сор, какой обнаружат. Микроглия к тому же — первая линия обороны от внешних вторжений: они обнаруживают и уничтожают микробы, проникающие в мозг.

Оказывается, микроглиальные клетки пожирают нежелательные синапсы, словно те — клеточные отходы или микробы. Пока этот процесс наблюдали только в зрительной коре и гиппокампе мышей; тот же механизм, возможно, действует и в других областях мозга или во всем мозге вообще. Как именно микроглиальные клетки определяют ненужные синапсы, пока, однако, неясно.

В сухом остатке
Мозг избавляется от ненужных синапсов

33 Нейропластичность

Вопреки старинной догме нейронные цепи взрослого мозга вовсе не «вшиты намертво», а под воздействием получаемого опыта постоянно меняются — всю жизнь и во многих аспектах. Такие изменения в целом именуются нейропластичностью, однако это понятие определено кое-как, его применяют как попало, им злоупотребляют.

Традиционно считается, что взрослый мозг — неизменная структура, которая лепится, пока развивается, а потом затвердевает со зрелостью, в точности как гипс, залитый в форму. На самом же деле нам теперь известно, что мозг в течение всей жизни постоянно меняется, и это одно из важнейших открытий современной нейробиологии. Изменения, возникающие в мозге, часто именуют нейропластичностью, однако пока нет общепринятого определения, что именно это слово означает. Нейробиологи применяют его как собирательное понятие, включая в него какие угодно физические перемены, происходящие в мозге. К примеру:

Нейрогенез — производство новых нервных клеток. За десятилетия исследований мы узнали, что несколько отдельных областей мозга взрослых мышей и крыс продолжают производить новые нейроны, и новорожденные нейроны вносят важный вклад в обработку информации. Происходит ли то же самое в мозге человека, пока, увы, непонятно.

Синаптическая пластичность — усиление или ослабление синаптических связей между нейронами. Она бывает двух видов: долговременная потенциация (ДП) и долговременное угнетение (ДУ) — укрепление или ослабление синаптической передачи соответственно. Синаптическая пластичность — наиболее изученный и понятый аспект нейропластичности.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1890
Уильям Джеймз выдвигает предположение, что нейронные цепи взрослого мозга не постоянны

1966
Терье Лёмо открывает долговременную потенциацию

1969
Пол Бах-и-Рита публикует работу по сенсорному замещению и первым экспериментальным подтверждениям нейропластичности у людей

Синаптогенез – образование новых связей между нейронами. Нейроны способны выпускать новые дендритные шипики – крохотные отростки, похожие на пальчики, в которых происходит синаптическая передача. Этот процесс впрямую наблюдали у животных; вероятно, он происходит и в человеческом мозге, однако никто его не видел, поскольку методики работы с животными не применимы к людям.

Обучение мозга Исследования показывают, что разного рода обучение может менять структуру мозга на физическом уровне – его можно увидеть на томограммах. Обучение и тренировка совершенствуют деятельность нейронных путей, вовлеченных в поставленную задачу, и мозг все эффективнее с ней справляется.

Среди лучших примеров – исследование работы лондонских таксистов, посвящающих изучению городских улиц и маршрутов до четырех лет жизни. Исследователи обнаружили, что обретение этого знания вызывает увеличение объема гиппокампа, занятого производством карт и хранением навигационных воспоминаний, и чем больше у водителя опыта, тем выше у него плотность серого вещества гиппокампа. Пока не очень понятно, что именно вызывает эти изменения, однако возможная причина – в образовании новых синапсов.

> **‘Любой человек, будь на то его желание, может стать скульптором своего мозга’**
>
> **Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1923)**

Похожим образом, если три месяца учиться жонглированию, уплотнится серое вещество в зрительной коре, занятое обработкой зрительно-пространственной информации. Увеличится и плотность нейронных путей в белом веществе, связывающих межтеменную борозду – часть мозга, вовлеченную в процессы зрительно-пространственной памяти, – с другими областями мозга.

Недавно лондонские ученые, применив диффузионно-тензорную визуализацию для сравнения мозга нескольких каратистов с черными поясами и мозга новичков, обнаружили различия в микроскопической структуре нейронных путей в белом веществе.

У мастеров плотность нервных пучков, связывающих мозжечок с двигательной корой, была выше. Таков результат многих лет тренировок, и это позволяет маститым каратистам наносить более мощные удары.

1981	2000	2004	2012
Дэйвид Хьюбел и Торстен Визель получают Нобелевскую премию за эксперименты с монокулярной депривацией котят	Элинор Мэгуайр с коллегами начинают исследование лондонских таксистов	Швейцарские исследователи показывают, что обучение жонглированию меняет мозг	Исследователи сообщают, что у мастеров каратэ белое вещество плотнее

К добру ли, к худу ль Именно благодаря нейропластичности мозг способен преодолевать разные тяготы. В 1960-х годах исследователи выявили процесс, который назвали сенсорным замещением: незрячих людей можно научить «видеть» объекты через прикосновение. Научив их пользоваться особым приспособлением, можно натренировать зрительную кору обрабатывать осязательную информацию, и ей удастся производить осязательный образ зрительных данных. Нейропластичность позволяет людям и восстанавливаться после мозговых травм: мозг перестраивается так, чтобы скомпенсировать утерянные функции, и продолжает работу вблизи поврежденных областей.

За последние годы нейропластичность стала модным жаргонным словечком: ею объясняют какие угодно нейробиологические явления, которые мы по-прежнему не понимаем.

Гуру популярной психологии и шарлатаны даже утверждают, что их методики усиливают нейропластичность и «перепрошивают мозг». При таком обращении с этим понятием и без дальнейших объяснений оно вообще теряет всякий смысл. На самом деле практически любое наше занятие «перепрошивает мозг». Пластичность формирует развивающийся мозг, а новые переживания так или иначе меняют его физическую структуру. Обучение и память, к примеру, связаны с усилением синаптических связей внутри распределенных нейронных сетей.

Испытание глаз

В 1960-х годах исследователи обнаружили, что развитие мозга зависит от чувственного опыта ранних лет жизни, и дефекты развития можно обратить. В серии экспериментов, принесших ученым Нобелевскую премию, они выращивали новорожденных котят, которым зашили один глаз; исследователи обнаружили, что это значительно повлияло на развитие зрительной коры. Она содержит колонки, принимающие сигналы поочередно то от левого, то от правого глаза. Когда от одного глаза зрительная информация не поступала совсем, колонки, обслуживающие этот глаз, не смогли развиться, а соответствующие открытому глазу получились гораздо мощнее нормального. Исследователи также обнаружили, что эти изменения можно обратить, если открыть зашитый глаз в некий определенный, критический для развития период времени. Ныне мы знаем, что этот критический период длиннее, чем казалось ученым поначалу. В наши дни подобные эксперименты считаются крайне неэтичными, однако они привели к разработке методик лечения амблиопии, или «ленивого глаза».

Однако синаптическая пластичность возникает в нашем мозге повсеместно и постоянно по массе других причин; по некоторым оценкам, человеческий мозг каждую секунду нашей жизни образует около миллиона новых связей. Тем не менее исследования подсказывают, что способность мозга перестраиваться с возрастом сдает.

Не любая нейропластичность – на пользу. Хорошо известно, к примеру, что пристрастие к кокаину и другим наркотикам, включая алкоголь и никотин, связано с синаптической пластичностью в нейронной сети поощрения, в которой задействован дофамин. Одной дозы наркотика хватит, чтобы повлиять на синаптическую передачу, а неоднократное его употребление вызывает долговременные изменения в синапсах, приводящие к тяге, навязчивому поиску дозы и неспособности завязать.

В сухом остатке

Мозг перестраивается под влиянием жизненного опыта

34 Отрочество

Отрочество — явление, уникально свойственное человеку, время жизни, отмеченное пиком рискового поведения. Новейшие исследования показывают, что мозг продолжает становление весь подростковый период вплоть до начала взрослости. Это приводит к продлению возраста пластичности, из-за чего подростки так уязвимы, однако эта наша особенность, возможно, дала нам важное эволюционное преимущество.

Некоторые аспекты отрочества род людской осознает не одно тысячелетие. Аристотель писал о нем как о состоянии непреходящего опьянения, а Шекспир суммировал свойственную подросткам смесь детской наивности и взрослых страстей в романтической трагедии «Ромео и Джульетта». С тех времен жизнь подростка сильно изменилась. Дети ныне раньше входят в пубертатный возраст, а взрослеют позже, чем встарь, и поэтому время подростковых страданий длится дольше.

Подростковая тревожность Стереотипный подросток угрюм, импульсивен и склонен к эмоциональным всплескам. Подростки ищут новых ощущений и потрясений, что, вкупе с кажущейся неспособностью принимать здравые решения, приводит к рисковому поведению. К тому же подростки нуждаются в одобрении сверстников больше, чем любой другой социальной группы, и потому крайне подвержены влиянию с их стороны. Все это отражено в статистике смертей, болезней и травм: подростки с большей вероятностью гибнут в автомобильных авариях, употребляют наркотики и злоупотребляют ими, а также проявляют бо́льшую половую неразборчивость, чем люди любого другого возраста.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1590-е
Уильям Шекспир пишет «Ромео и Джульетту»

1904
Издание «Юности» Грэнвилла Стэнли Холла, зарождение этой области исследования

1990-е
Первые томографические исследования изменений мозга в подростковой фазе

Обычно такое поведение списывают на бушующие гормоны, и подростки действительно переживают гормональный всплеск, который является у них причиной некоторых действий. Однако сейчас нам уже известно, что все куда занятнее. Долгое время считалось, что развитие мозга завершается в течение первых лет жизни, но недавние исследования показали, что развитие гораздо продолжительнее. И пусть этот орган достигает своих взрослых размеров уже к десяти годам, он все равно претерпевает сильные структурные изменения — вплоть до ранней взрослости.

Во всем виноваты апгрейды Переход от детства к взрослости связан с взаимодействием между двумя нейробиологическими и психологической системами. Первая — лимбическая, занятая эмоциями и мотивацией. Недавние работы показывают, что прилежащее ядро («центр удовольствия») у подростков активнее, чем у детей или взрослых, и это отчасти объясняет рисковое поведение. Вопреки распространенному убеждению подростки на самом деле переоценивают риски, связанные с лихим поведением, но из-за того, что их мозг чрезвычайно чувствителен к дофамину, также склонны переоценивать и удовольствие, которое такое поведение сулит.

«Усиливать мощь эмоциональных и мотивационных склонностей… метафорически говоря — все равно что жать на газ без опытного водителя»

Роналд Дал, американский психиатр (2003)

Другая система — префронтальная кора, контрольный центр мозга, выполняющий сложные функции типа принятия решений, долгосрочного планирования, сдерживания импульсов и откладывания вознаграждения. Диффузионно-тензорная визуализация показывает, что мозг на протяжении всего подросткового периода обновляет «прошивку», увеличивая производство миелина — жировой ткани, обволакивающей нервные волокна и облегчающей передачу нервных импульсов. Процесс миелинизации происходит волнообразно, эта волна постепенно охватывает весь мозг, двигаясь от задней его части вперед.

Области ближе к задней части мозга — например, занятые обработкой зрительной информации — обновляются на сравнительно ранних этапах, тогда как префронтальная кора, расположенная за глазами, не достигает полной зрелости до конца третьего десятка или даже до начала четвертого.

2011

Лоуренс Стайнберг с коллегами показывают, что сверстники усиливают склонность подростков к риску из-за активизации циклов поощрения в мозге

2012

Верховный суд США отменяет пожизненное заключение для несовершеннолетних убийц

Последнее слово за сверстниками

Лоуренс Стайнберг из Темпльского университета разработал видеоигру для проверки того, как подростки оценивают относительные риски и удовольствия. Игра предлагает ведение автомобиля по виртуальному городу с максимально возможной скоростью. На пути участников ожидает несколько светофоров, и некоторые, стоит к ним приблизиться, переключаются на желтый. Это вынуждает участников принимать быстрое решение: терять время и тормозить или сберечь время и проскочить. Стайнберг обнаружил, что, когда подростки играли в одиночку, они проскакивали на желтый не чаще взрослых. Однако если за ними наблюдали приятели, играющие почти вдвое чаще рвались проехать на желтый. Это показывает, какое влияние оказывают сверстники на поведение подростков: те ощущают одобрение ровесников как чрезвычайно приятное и, следовательно, более склонны рисковать, чтобы его заработать.

В то же время связи во всей коре головного мозга постоянно совершенствуются благодаря опыту, а синаптический прунинг не прекращается вплоть до первых лет взрослости. Поэтому подростки столь склонны к бестолковым решениям и большим рискам, хоть это и ненадолго.

Подростки учатся на своих промахах методом проб и ошибок, это влияет на развитие их префронтальной коры, и со временем их система контроля совершенствуется. Миелинизация и образование новых синапсов облегчают этот процесс, ускоряя и усиливая связи в нейронных сетях, укрепляя контрольные системы. А создание сильных связей между префронтальной корой и гиппокампом означает, что воспоминания о прожитом опыте все активнее интегрируются в процесс принятия решений.

Беспечный ездок Некоторые исследователи сравнивают подростковый мозг с автомобилем, которым управляет бесшабашный водитель, вжавший педаль газа в пол, но управлять машиной толком не обученный. На этой стадии развития рисковое поведение достигает пика. Подростки часто ввязываются в опасные ситуации и при этом крайне уязвимы. Но если взглянуть через призму эволюции, такое рисковое поведение, свойственное подросткам, можно рассматривать как ценное эволюционное преимущество.

Подростки рискуют, потому что ищут новизны и свежих ощущений, и это подталкивает их выбираться с привычной территории, получать новый опыт, исследовать неведомые земли. Так они готовятся покинуть родительский дом, безопасное окружение, выстроенное родственниками, и отправиться в ожидающий их широкий мир. Отложенная зрелость позволяет юному мозгу быть гибким и тем самым учиться на опыте,

получаемом в этой важнейшей фазе жизни. Разумеется, если б не подростковые выкрутасы наших предков, человечество, вероятно, не смогло бы забраться в каждую щель на глобусе.

«Юношей распаляет природа, как пьяных — вино»

Аристотель (384–322 до н. э.), древнегреческий философ

Юность и закон Поразительное открытие, что префронтальная кора не достигает полной зрелости до первых лет взрослости, привело некоторых исследователей к соображениям, что нам необходимо пересмотреть законодательство в отношении подростков. До недавнего времени подростков, обвиненных в убийстве, в США карали смертью или пожизненным заключением без права обжалования. В октябре 2012 года, однако, Верховный суд Соединенных Штатов отменил пожизненное заключение для несовершеннолетних убийц. Это решение было принято на основании накопленных подтверждений, что у подростков навыки принятия решений все еще недоразвиты, однако это не означает, что подростков не нужно призывать к ответу и наказывать за их проступки.

В сухом остатке

Рисковое поведение подростков может оказаться эволюционным преимуществом

35 Стресс и мозг

Продолжительные нервные перегрузки в раннем детстве и юности оказывают стойкое отрицательное влияние на мозг и поведение человека. Стрессы юности нарушают развитие нейронных сетей и скверно влияют на мыслительные функции, увеличивая риск умственных заболеваний в позднейшие годы. Однако некоторые такие эффекты, возможно, обратимы, из чего следуют выводы, важные для педагогики и социальной политики.

Способность откликаться на напряженные или угрожающие ситуации необходима для выживания, но теперь из многочисленных экспериментов на животных и людях нам известно, что продолжительное пребывание в напряжении оказывает отравляющее воздействие на мозг. Он особенно чувствителен к перегрузкам в раннем детстве, отрочестве и старости, поскольку в этих возрастных периодах переживает сильные изменения. Как именно стресс влияет на мозг, зависит от того, когда и как долго мы ему подвергались.

Длительное напряжение, особенно в раннем детстве, а также в юности, способно нарушить развитие нейронных сетей мозга и оказать долгосрочное вредоносное воздействие на поведение. Исследования показывают, что неоднократное попадание в напряженные ситуации — небрежения, насилия или нищеты — может задержать рост мозга и привести к устойчивому отрицательному воздействию на умственные функции в дальнейшей жизни, равно как и увеличить риск умственных расстройств.

Первые же эксперименты показали: у крыс, подвергнутых продолжительной обработке глюкокортикоидными гормонами стресса, разрушаются нервные клетки гиппокампа, необходимого в процессах памяти.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1985
Брюс Макъюэн с коллегами сообщают: глюкокортикоиды убивают нейроны в гиппокампе крыс

1999
Первые данные о том, что жестокое обращение с детьми уменьшает объем их мозга

2005
Марта Фэра с коллегами связывают социально-экономический статус с успехами в учебе

Сотни работ на эту тему показывают, что содержание крыс в ухудшенных условиях оказывает значительное отрицательное влияние на развитие и деятельность гиппокампа. А недавно обнаружилось, что качество ухода крысы-матери за потомством впрямую влияет на глюкокортикоидные рецепторы в гиппокампе крысят и приводит к пожизненному «программированию» отклика на стресс. Большая часть результатов экспериментов с животными, судя по всему, применима и к людям, из чего проистекает множество разнообразных следствий.

Отклик на стресс

Психологическая перегрузка вызывает согласованный отклик у автономной нервной, иммунной и гормональной систем, контролируемых осью гипоталамус-гипофиз-надпочечники. Стресс вызывает выброс кортикотропин-высвобождающего гормона и вазопрессина, что в свою очередь стимулирует выделение аденокортикотропного гормона (АКТГ) гипофиза. А вследствие этого выделяются гормоны надпочечников, влияющие на многие части тела. Позитивный стресс возникает в результате краткого опыта перегрузки — например, первого дня в яслях у ребенка. Это приводит к острому отклику — учащению сердцебиения и изменению гормонального фона, и с ним легко справиться. Умеренные нагрузки возникают вследствие расторжения брака или смерти близкого человека, и с ними дети могут справиться при помощи заботливого взрослого. Отравляющий стресс следует за неблагоприятными событиями, длящимися многие дни, недели или месяцы, и может привести к устойчивым изменениям мозга.

Будущее здоровье мозга Общественно-экономический статус на ранних этапах жизни – важнейший решающий фактор здоровья в будущем. Мы уже давно знаем, что люди побогаче обычно поздоровее и живут несколько дольше, чем публика с меньшим достатком, однако лишь несколько лет назад мы начали понимать, что нищета оказывает прямое мощное влияние на развитие мозга и особенности поведения в дальнейшей жизни.

Люди, выращенные в нищете, проводят детство в среде, где им часто недостает умственной стимуляции; в этих крайне требовательных условиях жизнь создает мозгу значительные перегрузки. Как следствие, он не получает нормального развития, что приводит к худшей успеваемости в учебе, портит профессиональные перспективы и увеличивает риск многочисленных заболеваний, в том числе умственных.

2011

Сет Поллэк с коллегами связывают уменьшенный объем гиппокампа с низким социально-экономическим статусом в раннем детстве

2012

Мартин Тайкер с коллегами доказывают: длительное жестокое обращение с детьми уменьшает объем гиппокампа

Множество исследований, проведенных с 2005 года, показывает, что дети из семей с низким доходом отстают от сверстников из семей побогаче почти во всех аспектах развития сознания. Дети из семей победнее обычно показывают худшие результаты на языковых контрольных, в навыках памяти и зрительно-пространственных умениях; экспериментально показано, что эти различия связаны и со структурой, и с деятельностью мозга.

> **«Проще вырастить крепких детей, чем чинить сломленных мужчин»**
>
> **Фредерик Дагласс (1818–1895), афроамериканский политик, оратор, реформатор, писатель**

Одна недавняя научная работа продемонстрировала, что деятельность префронтальной коры, связанная с исполнительной функцией и рабочей памятью, у детей из бедных семей видоизменена и обусловливает дефицит внимания. В другом исследовании произвели сравнение 300 детей из всего социально-экономического спектра и обнаружили, что у испытуемых из семей с низким доходом плотность серого вещества гиппокампа ниже, чем у происходящих из средне- и высокообеспеченных семей. А в одной совсем свежей работе показано, что систематическое жестокое обращение с ребенком приводит к уменьшению объема серого вещества гиппокампа.

Последствия бедности, небрежения и насилия зависят от периода их переживания: разные части мозга более чувствительны к ним на разных стадиях развития. Гиппокамп особенно уязвим для психологических перегрузок в возрасте от трех до пяти лет, тогда как префронтальная кора — с 14 до 16 лет. Многие результаты стресса поначалу незаметны и проявляются лишь в подростковом возрасте или даже позднее. Независимо от причины, длительный стресс в ранние годы увеличивает последующий риск депрессии, психоза, посттравматического расстройства, расстройств личности, импульсивного поведения, злоупотребления алкоголем и веществами — и это еще не весь список.

Не все потеряно Важно отметить: исследования показывают, что по меньшей мере некоторые из вредоносных воздействий стресса можно обратить — если предпринять необходимые меры. Развитие мозга у грызунов, выращенных в изоляции и негодных условиях, можно спасти улучшением среды обитания: отклик на стресс у крысят, родившихся у безалаберной матери, можно нормализовать, передав их самкам, которые за ними ухаживают и вылизывают их регулярнее.

Похоже, это применимо и к людям, а значит, различные вмешательства в неблагополучные условия воспитания детей могут смягчить отрицательное влияние перегрузок детства. Неблагоприятные последствия жизни в условиях нищеты можно хотя бы частично обратить или замедлить их

проявление, обеспечив ребенку обилие и разнообразие умственной стимуляции. Одно недавнее исследование более 1200 американцев средних лет показало, что сердечность и заботливость матерей может хотя бы частично скомпенсировать неблагоприятные последствия бедности.

Подобные вмешательства можно осуществлять на многих уровнях — от коррекции родительского поведения до образовательной и социальной политики. Однако решающую роль здесь играет время: вмешательство важно осуществить чем раньше, тем лучше. Сказать такое, конечно, гораздо проще, чем сделать. При этом есть и другие факторы — генетическая предрасположенность, например, — которыми уж точно никак не получится управлять.

В сухом остатке

Длительные психологические перегрузки отравляют мозг

36 Старение мозга

С возрастом наш мозг постепенно ветшает, с чем обычно связывают угасание умственных способностей. Однако недавние исследования показывают, что мозг претерпевает функциональные изменения, которые могут скомпенсировать вырождение, связанное с возрастом, и ученые начинают все лучше понимать, как выбор определенного образа жизни может отсрочить возрастную разруху.

Мы все боимся «склона лет», нам всем знакома удручающая картина старости. Общепринято, что мозг достигает пика развития в конце третьего десятка и после этого катится под горку, необратимо увядает, что ведет к сокращению умственных способностей или даже, возможно, к старческому слабоумию. К счастью, эта картина не вполне точна.

Мозг действительно постепенно ветшает начиная лет с 50, и, хотя результаты лабораторных испытаний молодежи действительно всегда лучше стариковских, это не применимо впрямую к повседневной жизни. Есть значительные различия в том, как старение влияет на людей: многие с возрастом и впрямь переживают закат умственных способностей, но многие другие продолжают нормально функционировать вплоть до самых солидных лет – большинству из нас известен хотя бы один человек, физически здоровый и ясный умом даже в 80 или за 80.

Современные томографические методы приоткрывают завесу над изменениями мозга с возрастом, и за последние лет десять мы увидели новую, довольно неожиданную картину старения мозга. Исследования, судя по всему, демонстрируют, что мозг претерпевает

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

около 380 до н. э.

Издание «Государства» Платона

1950-е

Херолд Броди публикует первое исследование влияния старения на мозг

функциональные изменения, отсрочивающие угасание, возникающее с возрастом, и ученые даже нашли несколько человек, чей мозг не повредила старость (*см. стр. 146*).

Даешь жизненный опыт Старение обычно связано с ухудшением различных умственных навыков, и лучше всего в этом смысле изучена память. Люди преклонных лет часто переживают провалы в эпизодической памяти, забывая, например, где именно оставили автомобиль, что, вероятно, есть следствие изъянов кодирования, хранения или извлечения воспоминаний. В лабораторных тестах пожилые люди показывают значительное отставание в задачах, связанных с быстрым переключением внимания, а также в испытаниях рабочей памяти на хранение информации и обращение с нею в краткие промежутки времени.

«Человек, старея… к научению становится способен еще менее, чем к бегу: именно юношам принадлежат все великие и многочисленные труды»*

Платон (428/427 — 348/347 до н. э.), древнегреческий философ

* Платон, «Государство», книга VII, пер. А. Н. Егунова.

С другой стороны, пожилые люди обычно не имеют затруднений с семантической (понятийной) памятью, а их знание о мире часто глубже, чем у молодых. Также было установлено, что у пожилых более развита эмпатия (сопереживание) и они располагают более высоким уровнем эмоционального благополучия, чем люди моложе.

Возрастные перемены Старение вызывает изменения в устройстве мозга, однако, как эти изменения связаны с умственными функциями, неясно до сих пор. Наиболее очевидное структурное изменение — небольшое, но значимое уменьшение плотности серого вещества. По мере нашего старения масса серого вещества сокращается, особенно в лобной коре, гиппокампе, хвостатом ядре и мозжечке, что приводит к примерно 10-процентному уменьшению общего размера мозга между 20 и 90 годами жизни. Это уменьшение связывают со смертью клеток коры головного мозга.

Согласно одной оценке в этот период отмирает около 9,5% корковых клеток; это приблизительно 85 000 нейронов в день, или по одному в секунду, что приводит к утончению коры и уменьшению ее массы и площади поверхности.

2003
Бенте Паккенберг с коллегами оценивают ежедневное количество умирающих нейронов неокортекса

2012
Тереза Хэррисон с коллегами выделяет группу суперэйджеров, чей мозг, похоже, неуязвим для старения

Суперэйджеры

Американские исследователи недавно выделили небольшую группу людей старше 80 лет, чей мозг, судя по всему, не поддался старению. В лабораторных тестах на запоминание списков слов эти люди, поименованные исследователями «суперэйджерами», дали фору другим здоровым людям того же возраста и совпали по результатам со здоровыми взрослыми в возрасте от 50 до 65 лет.

Структурные МРТ-исследования показали и то, что мозг этих людей не претерпевает изменений, характерных для старения. Новая кора у них была столь же толстой, как и у более молодых взрослых, а общий объем мозга почти полностью сохранился. Более того, один специфический участок мозга — передняя часть поясной извилины — оказался у суперэйджеров даже толще, чем у здоровых молодых людей. Эти данные показывают, что износ мозга, связанный с возрастом, и сокращение умственных возможностей не неизбежны. Дальнейшее изучение этих людей может дать подсказки, как предотвращать или уменьшать угасание умственной деятельности, традиционно ассоциирующееся со старостью.

Судя по результатам сканирования, старение означает еще и уменьшение плотности белого вещества. Такое разуплотнение происходит во всем мозге, но особенно очевидно – в нейронных пучках, пролегающих за лобной, височной и теменной долями. Белое вещество мозолистого тела, массивного пучка нервных волокон, связывающего полушария мозга, также с возрастом дегенерирует. Эти изменения, похоже, лучше коррелируют с постепенным угасанием умственных функций, нежели перемены в сером веществе, и могут обусловливать уменьшение скорости обработки информации.

Старея, наш мозг переживает и различные химические изменения: множество исследований показывает, к примеру, что мы производим все меньше нейромедиатора дофамина. Количество дофаминовых рецепторов также с возрастом уменьшается, и, вероятно, из-за этого возникают трудности с вниманием, памятью и движением, характерные для пожилых.

С возрастом могут развиться и амилоидные бляшки и нейрофибриллярные клубки в тканях мозга. Эти структуры – патологические знаки болезни Альцгеймера, и хотя их появление – нормальная часть старения, болезнь развивается лишь у некоторых людей. Причины пока неизвестны, однако высказывается предположение, что болезнь Альцгеймера есть результат аномального или ускоренного старения.

Иски о компенсации На протяжении всей жизни мозг сохраняет способность меняться — это явление называют нейропластичностью, однако имеются все свидетельства того, что эта способность с возрастом ослабевает. Тем не менее недавние исследования позволяют полагать, что мозг претерпевает функциональные изменения, компенсирующие возрастные ухудшения. Многочисленные томографические изыскания показывают, что некоторые участки мозга у пожилых во многих процессах активнее, чем у людей моложе, — например, в двигательном контроле, а также в задачах, задействующих автобиографическую, эпизодическую и рабочую память.

Почему одних людей старость задевает сильнее, чем других, пока неясно, однако, скорее всего, есть генетические предрасположенности к разной скорости и качеству старения. Есть мнение, что выбор того или иного образа жизни — образование, регулярные упражнения, здоровая диета, качественный сон и даже общение — могут поддержать здоровое старение и хотя бы отчасти отсрочить любую генетическую неизбежность. В последние годы сильно возросла популярность компьютерных программ для тренировки мозга. Производители заверяют, что эти программы могут побороть связанное с возрастом угасание умственной деятельности и снизить риск развития болезни Альцгеймера. Подобные программы развивают навыки, необходимые для работы с ними, однако никаких реальных доказательств их благотворности для умственных возможностей в целом не найдено.

В сухом остатке
Мозг компенсирует возрастные ухудшения своей работы

37 Нейродегенерация

Нейродегенеративные заболевания — прогрессирующие, обусловленные возрастом расстройства с одним и тем же патологическим механизмом. Этим заболеваниям подвержены миллионы людей — и в будущем, по мере старения Западного мира, они могут распространиться еще шире. Тем самым они значительно обременяют здравоохранение и обходятся невероятно дорого.

Нейродегенеративные заболевания вызывают смерть специфических групп нейронов центральной нервной системы. Их можно грубо разделить на две категории:

Ухудшение умственной деятельности

- Болезнь Альцгеймера (самая распространенная и наиболее изученная форма деменции)
- Лобно-височная лобарная дегенерация
- Сосудистая деменция
- Болезнь Пика

Расстройства двигательного аппарата

- Болезнь Паркинсона
- Болезнь Хантингтона
- Болезни двигательных нейронов (например, боковой амиотрофический склероз)
- Спиноцеребеллярные атаксии

Трансмиссивные губчатые энцефалопатии, или прионные заболевания, — другая группа нейродегенеративных расстройств. Они вызывают и умственные, и двигательные затруднения и включают:

- Губчатую энцефалопатию крупного рогатого скота («коровье бешенство»)
- Болезнь Крейтцфельдта — Якоба
- Синдром Герцмана — Штраусслера — Шейнкера

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1872
Джордж Хантингтон предлагает первое подробное медицинское описание заболевания, получившего его имя

1906
Алоиз Альцгеймер описывает первый случай заболевания, получившего его имя

1937
На популяции шотландских овец установлена заразность почесухи

- Фатальную семейную бессонницу
- Куру (*см. вставку*)
- Почесуху овец

Каннибализм и «хохочущая смерть»

Куру — прионное заболевание, открытое в 1950-х годах у народа южные форе в Папуа — Новой Гвинее, подцепившего эту болезнь в результате практикуемого ритуального каннибализма. После смерти члена племени родственницы усопшего по традиции расчленяли и поедали тело, включая нервную систему. Жертвы заболевания куру особенно ценились как источник пищи, поскольку в теле больного развивалась жировая ткань, похожая на свинину. Слово «куру» означает «дрожь» на языке форе и описывает симптомы: болезнь поражает главным образом мозжечок, из-за чего у больного появляется шаткая походка и треморы. В 1950-х вспышка куру унесла жизни около 1000 людей форе, после чего каннибализм был объявлен австралийским правительством вне закона. Примерно пять лет назад исследователи вернулись в Папуа — Новую Гвинею и обнаружили 11 случаев заболевания. Они предположили, что у куру необычайно долгий инкубационный период, а это вызвало беспокойство о возможной вспышке болезни Крейтцфельдта — Якоба в будущем — после истории с «коровьим бешенством» в Великобритании в конце 1980-х.

Прионная гипотеза

Прионные заболевания – чрезвычайно редкие расстройства; о них мало что знали вплоть до конца 1980-х годов, когда на них обратили внимание вслед за эпидемией «коровьего бешенства», скосившего крупный рогатый скот в Великобритании. 156 человек умерли от болезни Крейтцфельдта – Якоба, судя по всему из-за того, что съели мясо зараженных коров. Большинство болезней вызывают микробы, однако прионные заболевания – особая статья: согласно прионной гипотезе их вызывает аномальная форма белка нервных клеток, которая может передаваться между организмами как одного вида, так и разных.

Слово «прион» означает «протеиновая белковая инфекционная частица» и описывает этот уникальный способ передачи заболевания. Белок-прион есть во всех нейронах, однако его нормальная функция до сих пор неизвестна, хотя его расположение на мембране клетки подсказывает, что он вовлечен в передачу сигналов от клетки к клетке. Мутация в гене, кодирующем прион, заставляет этот белок складываться неправильно, и эти неправильно сложенные молекулы слипаются в нерастворимые комки, отравляющие нейроны. Эти комки затем разваливаются на куски, действующие как «семена», они распространяются в ткани,

1982
Стэнли Прузинер предлагает понятие «прион»

1986
В Великобритании обнаружено «коровье бешенство»

1997
Прузинер получает Нобелевскую премию за изучение прионов

Причина или следствие?

При некоторых нейродегенеративных расстройствах комки белка — прямая причина симптомов, но в других все не так очевидно. Принято считать, что отложения бета- и тау-амилоида вызывают болезнь Альцгеймера, и лекарства, тормозящие этот процесс, могут предотвратить или замедлить развитие расстройства. Однако это еще предстоит доказать точно: с той же вероятностью эти комки могут быть следствием болезни, а не причиной.

и нормальные молекулы этого белка тоже принимают эту ненормальную конфигурацию.

Неправильно свернутые белки

Почти все нейродегенеративные заболевания связаны с патологическим прионоподобным механизмом, по которому наследуемые или спонтанные генетические мутации заставляют неправильно свернутые белки накапливаться в виде нерастворимых комков или волокон внутри или вокруг нейронов, так или иначе мешая их деятельности. Разновидность белка и распределение и конкретное воздействие его комков зависит от вида заболевания. Некоторые нейродегенеративные расстройства обусловлены несколькими неправильно свернутыми белками, и во многих случаях отложения этих белков начинают формироваться задолго до появления каких-либо симптомов.

Болезнь Альцгеймера, к примеру, характеризуется отложениями белка бета-амилоида, образующего бляшки в зазорах между нейронами, и тау-белка, формирующего нейрофибриллярные клубки внутри клеток. Такие отклонения передаются от клетки к клетке почти так же, как вирус. Мозг из-за клеточной смерти сжимается, обычно — начиная с гиппокампа и создавая трудности с памятью и ориентировкой в пространстве. Это сжатие можно заметить на томограммах задолго до проявления симптомов, однако бляшки видны только под микроскопом, а поэтому точный диагноз можно поставить только посмертно, изучив мозг усопшего.

Болезнь Паркинсона определяется аккумуляцией неправильно свернутых молекул белка альфа-синуклеина, образующих структуры под названием «тельца Леви» внутри нейронов и приводящих к смерти дофамин-производящих нейронов среднего мозга. Болезнь Хантингтона, с другой стороны, связана с мутацией белка хантингтина, накапливающегося внутри ядер нейронов.

Обычно неправильно сложенные белки и другие клеточные отходы предназначены для уничтожения либо микроглией — клетками-уборщиками мозга, либо биохимической реакцией (именуемой убиквитин-активированным лизосомальным путем), выполняющей функции

клеточного мусорного ведра. Уже накоплено немало подтверждений, что эти механизмы при нейродегенеративных заболеваниях перестают срабатывать, и, возможно, поэтому неправильно свернутые белки накапливаются, а не устраняются из нервной ткани.

Надвигающаяся эпидемия? Наследуемые мутации могут вызвать тяжелые ранние случаи нейродегенеративных расстройств, однако в большинстве случаев возникают случайно, и величайший фактор риска здесь – возраст. К примеру, вероятность возникновения болезни Альцгеймера каждые пять лет после 65 удваивается, а после 85 лет достигает вероятности 50%. Причины этого неясны, однако некоторые исследователи полагают, что нейродегенеративные заболевания – следствие ускорения нормального процесса старения.

Население Запада стареет – отчасти из-за резкого роста продолжительности жизни за прошедшее столетие, но в основном из-за низкого уровня рождаемости. В результате более половины населения Западной Европы и Северной Америки перевалило за 50. Этот показатель продолжит расти, когда поколение взрыва рождаемости («бэби-бума») в ближайшие десятилетия достигнет пенсионного возраста, что уже привело к прогнозам мощного увеличения числа людей, у которых есть все шансы на нейродегенеративные заболевания. Болезнью Альцгеймера, наиболее распространенным нейродегенеративным расстройством, сейчас в одной только Америке страдает около 4–5 миллионов человек, а в Великобритании – почти полмиллиона. По прогнозам эти цифры к 2050 году удвоятся, а то и утроятся.

‘Вскрытие показало изменения, представляющие наиболее серьезную форму старческой деменции — специфические глубоко окрашенные фибриллярные клубки’

Эмиль Крепелин (1856–1926), немецкий психиатр
Одно из первых описаний патологии Альцгеймера (1910).

В сухом остатке
Все нейродегенеративные заболевания имеют похожий патологический механизм

38 Нейрогенез взрослых

Бóльшую часть предыдущего столетия общепринято было считать, что взрослый мозг новых клеток не производит. Это мнение начало меняться в 1960-х годах благодаря исследованиям, показавшим, что у некоторых биологических видов млекопитающих клетки мозга производятся и всю взрослую жизнь. Однако вопрос, распространяется ли это наблюдение на людей, по-прежнему остается открытым.

Растущий мозг производит множество клеток, и этот процесс называется нейрогенезом, однако долгое время считалось, что производство новых клеток происходит в период развития — и только. Когда-то это была ключевая догма нейробиологии, но в 1960-х годах в ней усомнились: серия экспериментов показала, что отдельные участки мозга крыс и мышей продолжают вырабатывать новые клетки и по завершении периода развития. Этими исследованиями поначалу пренебрегли, однако последующее изучение певчих воробьиных, а затем обезьян подтвердило полученные результаты.

Открытие нейрогенеза взрослых часто считают важнейшим в современной нейробиологии. Ныне широко распространена убежденность, что человеческий мозг производит новые клетки всю жизнь, — представление, перевернувшее наши взгляды на здоровый и хворый мозг. И ученые, и широкая публика очарованы мыслью, что взрослый мозг может производить новые клетки: это дарит надежду на способность мозга чинить себя после травмы или болезни.

Изучение животных показывает, что физические и умственные упражнения могут подтолкнуть рост новых клеток мозга, и ныне считается, что это применимо и к людям. Многие верят, что упражнения,

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1962
Первые данные о нейрогенезе у взрослых крыс

1980
Фернандо Ноттебом сообщает о нейрогенезе у взрослых певчих воробьиных

1992
Исследователи обнаруживают стволовые клетки в мозге взрослой мыши

1998
Фред Гейдж с коллегами находит подтверждения нейрогенеза взрослого человека

Созвучно временам года

Серия классических экспериментов, проведенных в 1980-х годах, показала: размер мозга у певчих воробьиных меняется по сезону. Каждый год непосредственно перед брачным периодом область мозга самца канарейки, отвечающая за пение, производит новые клетки, что позволяет самцу выучивать новые мелодии для исполнения потенциальным подругам. По окончании брачного периода эти клетки отмирают, и участок мозга, отвечающий за пение, сжимается.

Этот цикл регенерации и дегенерации повторяется ежегодно, из-за чего размеры области мозга, отвечающей за пение, флуктуируют. Наблюдение оказалось важным, поскольку на первые данные о нейрогенезе у взрослых крыс не обратили внимания. Изучение же мозга канареек привело к широкому признанию этого явления и развенчало устоявшуюся догму о том, что у взрослых позвоночных мозг не производит новых клеток.

стимулирующие нейрогенез, способны снизить риск связанного с возрастом угасания умственных возможностей, равно как болезни Альцгеймера и депрессии. В наши дни это область интенсивных исследований, однако вопрос, производит ли взрослый мозг свежие клетки, по-прежнему вызывает ожесточенные споры.

От мышей... Хотя зачин у темы нейрогенеза взрослых вышел нестройный, теперь уже есть неопровержимые доказательства, что мозг грызунов содержит по меньшей мере две популяции стволовых клеток, сохраняющих способность производить новые нейроны на протяжении всей жизни особи, а новорожденные клетки выполняют важные функции (*см. также гл. 43 «Стволовые клетки мозга»*).

Одна из этих общностей вырабатывает молодые нейроны, мигрирующие на короткие расстояния в гиппокамп. Там они встраиваются в существующие нейронные цепи и вносят свой вклад в обработку информации. Исследователи применили методики генной инженерии и вывели мышей, неспособных к производству новых нейронов гиппокампа. Изучение этой разновидности мышей показывает: блокирование взрослого нейрогенеза

1999
Элизабет Гулд с коллегами открывает нейрогенез в гиппокампе взрослых обезьян

2006
Йонасу Фрисену с коллегами не удается обнаружить нейрогенез в коре головного мозга взрослого человека

2007
Морис Кёртис с коллегами обнаруживают мигрирующие клетки во взрослом мозге человека

2012
Фрисену с коллегами не удается обнаружить новорожденные клетки в обонятельной луковице взрослого человека

провоцирует тяжелые расстройства памяти — у животных возникали трудности с созданием новых воспоминаний, ориентационные навыки по сравнению с обычными особями оказались хуже.

Клетки, производимые другой областью мозга, перемещались на гораздо большие расстояния — к обонятельной луковице на самом переднем крае мозга, где они играют важную роль в обработке обонятельной информации. С пресечением производства этих новых нейронов мыши теряют способность формировать новые воспоминания о запахах.

> **«С завершением развития источники роста пересыхают необратимо. У взрослого нервные пути неизменны»**
>
> **Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1905)**

Эксперименты на животных также показали, что число новых клеток уменьшается с возрастом особи. Выяснилось, что образование новых клеток мозга поддерживают физические упражнения, равно как и помещение животных в удобные условия с большим количеством новых предметов, которые можно изучать и играть с ними. Другие данные указывают на то, что в мозге мыши есть стволовые клетки, начинающие делиться при повреждениях мозга, и получающиеся в результате незрелые нейроны далее мигрируют к месту травмы.

...До обезьян и людей Можно ли эти сведения, добытые при изучении животных, распространить и на людей? — вот в чем вопрос. Частенько по умолчанию считается, что да, можно, но свидетельств о взрослом нейрогенезе человека кот наплакал. В 1980–1990-х годах несколько групп ученых искали новые клетки в мозге обезьян — уж они-то родственники человеку поближе грызунов. Эти исследования дали противоречивые результаты: одни ученые заявили, что обнаружили новорожденные нейроны в гиппокампе и коре, а другие ничего найти не смогли.

Работы по изучению взрослого нейрогенеза в человеческом мозге также противоречат друг другу. В 1998 году случился прорыв: ученые исследовали мозг пяти пациентов, умерших от рака, и обнаружили стволовые клетки в гиппокампе, способные, судя по всему, делиться и производить незрелые нейроны.

Отсюда сделали вывод, что гиппокамп человека, подобно мышиному, производит новые клетки всю жизнь. Важно, правда, отметить: исследование никак не доказало, что эти новые клетки работоспособны.

С тех пор несколько групп исследователей выделили стволовые клетки из различных областей человеческого мозга и выявили, что те могут производить незрелые клетки мозга, если выращивать их в чашках Петри. Еще одна

работа, опубликованная в 2007 году, показала, что человеческий мозг содержит множество клеток, мигрирующих к обонятельной луковице, хотя воспроизвести этот результат пока не удалось. Разумеется, последующие работы подтвердили, что множество нейронов продолжает перемещаться к обонятельной луковице в мозге младенцев, однако мозг взрослого человека содержит гораздо меньше мигрирующих клеток — возможно, нисколько.

„Всем хочется верить, что можно починить поврежденный мозг, однако доказательств тому всего ничего"

Эндрю Ламсден,
британский нейробиолог (2011)

Итого результаты исследований подсказывают, что мозг человека продолжает вырабатывать множество новых клеток сразу после рождения, однако этот процесс быстро угасает. По всей вероятности, в мозге действительно присутствуют стволовые клетки, способные к размножению и до старости, однако важно понимать, что мы по-прежнему не знаем, вырабатываются ли новые клетки в достаточном количестве, чтобы иметь какое-либо функциональное значение. Словом, вопрос открыт.

В сухом остатке
Вырабатывает ли взрослый мозг новые клетки?

39 Эпигенетика

Эпигенетика — мост между природой и породой: она показывает, как окружающая среда влияет на гены. Она объясняет, как жизненные переживания могут менять генную деятельность без вмешательства в последовательность ДНК. Эпигенетика имеет большое значение для понимания работы мозга и дает надежду на новые методы лечения неврологических расстройств.

Как так вышло, что нейроны совершенно не похожи на клетки кожи или легких, хотя и у тех, и у других, и у третьих одна и та же ДНК? И почему однояйцевые близнецы ведут себя по-разному, хотя генетический код у них один и тот же? Ответы нужно искать в эпигенетике — новой области знания, которая за последние десять лет уже радикально перелицевала биологию.

Эпигенетика — изучение наследуемых изменений генетической активности, возникающих без модификации последовательности ДНК. Она объясняет, как жизненный опыт и окружающая среда влияют на активность генов, а возникающие изменения могут быть переданы следующему поколению. Наши эпигенетические знания все еще в зачаточной стадии, однако мы уже понимаем, что этот аспект влияет практически на все стороны деятельности мозга.

Ламарк против Дарвина Около 200 лет назад Жан-Батист Ламарк выдвинул теорию происхождения жизни на Земле. Он считал, что организмы приспосабливаются к окружающей среде и эти изменения передаются по наследству. Шея жирафа, например, постепенно удлинялась — животное пыталось достать более высокие

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1801
Жан-Батист Ламарк выдвигает теорию наследования приобретенных признаков

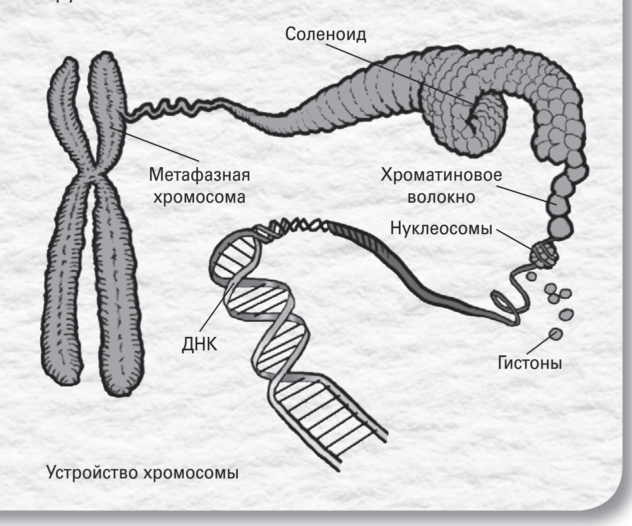
1859
Издание книги Чарлза Дарвина «О происхождении видов»

1866
Грегор Мендель публикует работу о наследовании у растений

1942
Конрад Уоддингтон предлагает термин «эпигенетика»

Чётки жизни

Ядро любой клетки нашего тела содержит более метра ДНК, упакованного в 23 пары хромосом. Каждая хромосома состоит из одной длинной двойной спиральной молекулы ДНК, в которой закодирована информация для синтеза тысяч различных белков клетки. ДНК туго свернута вокруг бочкообразных белков — гистонов, — и вся конструкция похожа на четки, нанизанные на нитку. Она скручена в спиральные волокна диаметром 30 нанометров (миллиардные доли метра), а волокна, в свою очередь, уложены петлями. Комбинация ДНК и белков внутри хромосомы называется хроматином. Хромосомы претерпевают постоянные структурные изменения, регулирующие активность генов. Хроматин раскрывается в определенных областях и подпускает к генетической информации молекулярный аппарат, осуществляющий синтез белков, после чего захлопывается, и ген опять становится неактивен. Эти изменения контролируются эпигенетическими механизмами, «метящими» хромосомы. Совокупность маркеров составляет эпигеном.



Устройство хромосомы

ветки, и потому его отпрыски унаследовали шею длиннее. Чарлз Дарвин предложил альтернативную теорию — эволюцию путем естественного отбора. По Дарвину, все отдельные особи одного и того же вида отличаются друг от друга.

Благоприятная разновидность особенностей позволяет конкретному животному лучше приспосабливаться, а вот другие разновидности бесполезны или вредны. Обладатели благоприятных особенностей размножаются, а менее успешные постепенно вымирают.

1983
Тимоти Бестор и Вернон Ингрэм выделяют ДНК метилтрансферазы

2004
Майкл Мини с коллегами публикуют знаковую работу по эпигенетике

2005
Рахиль Йехуда с коллегами представляют исследование передачи травмы между поколениями

Хотя Дарвин не вполне сознавал это в свое время, такие разновидности возникают в форме генетических мутаций. Далее Грегор Мендель открыл принципы наследования и выдвинул предположение, что «единицы наследования» (мы их теперь называем генами) передаются из поколения в поколение. Подтверждений теории естественного отбора все прибавлялось, от теории Ламарка отказались и забыли о ней. Эпигенетика примиряет эти два представления, объясняя, как наследуются приобретенные особенности.

Материнская любовь В 2004 году канадские исследователи опубликовали знаменательную работу, показывающую, что качество материнской заботы оказывает серьезное и длительное влияние на потомство. Они обнаружили, что крысята, которых мать в течение первой недели жизни регулярно облизывает и вычесывает, лучше справляются со стрессовыми ситуациями во взрослой жизни, чем получившие мало общения с матерью или не получившие совсем.

Исследователи изучили и состояние мозга этих животных и обнаружили, что разница в поведении связана с различиями в активности гена, кодирующего глюкокортикоидный белок-рецептор, играющий ключевую роль в отклике на стресс: у крысят, обласканных матерью, выявили гораздо более высокий уровень содержания этого рецептора в гипоталамусе, чем у обделенных материнской заботой.

В последующих работах изучили мозг самоубийц – некоторые пережили насилие в детстве – и людей, внезапно погибших по другим причинам. Оказалось, что эпигенетические отличия мозга самоубийц, переживших скверное обращение в детстве, связаны с иной активностью гена, кодирующего глюкокортикоидный рецептор, что увеличило риск самоубийства.

Эпигенетика в действии
Эпигенетика обусловлена химическим видоизменением хромосомальной ДНК или связанных с ней белков (*см. стр. 157*). Самое известное видоизменение – метилирование: метиловая группа, маленький фрагмент молекулы

Наследование травмы

Эпигенетика — форма «генетического отпечатка»: клетки, делясь, передают свои эпигенетические маркеры дочерним клеткам. И хотя нейроны не делятся, эпигенетические модификации нейрональных генов могут быть переданы от поколения к поколению. Вот один пронзительный пример из исследования 2005 года: беременная женщина, пережившая атаку на Башни-близнецы, передала свою травму детям, и эпигенетический механизм этой передачи пока нам неведом. У детей, рожденных от матерей, находившихся на последнем триместре беременности во время атаки и перенесших посттравматическое расстройство, как выяснилось годы спустя, общий уровень кортизола в крови ниже нормы, а возбудимость и раздражимость острее.

из одного атома углерода и трех атомов водорода, присоединяется к специфическому месту в последовательности ДНК или к белку-гистону при участии фермента метилтрансферазы. Эта реакция присоединения метиловой группы «помечает» хромосому: ее структура подлежит изменению.

Эти «метки» перестраивают общую структуру хромосомы и тем самым влияют на активность генов. Эпигенетические метки, или маркеры, могут оказывать противоположное влияние на генную активность. Некоторые открывают тот или иной участок хромосомы, и генетическая информация, закодированная в нем, становится доступной для синтеза белков. Другие, наоборот, закрывают хромосому, целиком заглушая гены на данном участке.

> **‘Эта новая заманчивая область знания... меняет наши взгляды на то, как нужно думать о нашем прошлом и будущем’**
>
> **Эва Яблонка (р. 1952), израильский генетик**

Эпигенетические механизмы задействованы практически во всем, чем занят здоровый мозг. Они контролируют разделение задач нейронных стволовых клеток во время развития мозга, к примеру, и вносят свой вклад в формирование и обслуживание памяти. При старении в профиле эпигенетических маркеров появляются изменения — и в мозге, и в других областях тела; нейробиологические расстройства типа болезни Альцгеймера также связаны с эпигенетическими изменениями в нейронах. То же касается и наркотической зависимости.

Расстановка эпигенетических маркеров, однако, обратима. В экспериментах на крысах канадские ученые обнаружили, что передача прежде не обихоженных крысят заботливой матери устраняет эпигенетические маркеры на гене, кодирующем глюкокортикоидный рецептор. Также обнаружилось, что эффект отсутствия матери можно обратить, если дать крысятам вещество, которое замедляет вызванную скверным уходом эпигенетическую модификацию гена, отвечающего за производство глюкокортикоида. У всех этих открытий есть очевидные глубинные следствия применительно к воспитанию детей. Важно отметить: результаты этих экспериментов подсказывают, что для детей, выросших в агрессивной или убогой среде, не все потеряно.

В сухом остатке
Жизненный опыт можно унаследовать

40 Пассивный режим

«Витание ума», бывает, одаривает ученых свежими прозрениями о природе мозговой деятельности. Отключение от окружающего мира и погружение в мир умственный, пространство грез и воображения активирует области мозга, именуемые сетью пассивного режима, отключенного во время выполнения задач, инициированных извне. Эта сеть, подверженная нарушениям при различных заболеваниях, возможно, поддерживает сущностные функции мозга.

Мозг часто считают системой ввода-вывода, обрабатывающей информацию, которая поступает извне, и производящей поведенческий отклик. Большинство исследований посвящено изучению активности мозга — как он «подсвечивается» во время того или иного действия или восприятия. Этот ненасытный орган поглощает около 20% энергии тела, притом, что занимает лишь 2% от общей телесной массы. Еще с 1950-х годов мы знаем, что метаболическая активность мозга при деятельном выполнении какой-нибудь задачи меняется лишь самую малость.

Иными словами, мозг не прохлаждается, даже когда мы вообще ничем не заняты, и имеет встроенный порядок деятельности, забирающей основную часть энергии. Эта «фоновая» работа происходит постоянно и не меняется от степени нашей загруженности задачами. Это «пассивный режим» работы мозга, в котором задействована сеть областей, проявляющихся в эфире, когда мозг бодрствует, но находится в покое. Эта работа может представлять сущностные функции мозга, а различные нейробиологические расстройства способны ее нарушать. Многие считают, что изучение мозга в состоянии покоя

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1929
Ханс Бергер выдвигает предположение, что мозг активен всегда, даже в покое

1955
Луис Соколофф с коллегами обнаруживают, что уровень метаболизма мозга постоянен

1974
Давид Ингвар собирает данные сканирования мозга в покое и отмечает постоянные последовательности активности

расскажет нам много важного о его деятельности и дисфункциях. И все-таки вот в чем вопрос: чем мозг занят, когда он в покое?

> **«Система пассивного режима — это работа мозга, которую мы производим, когда нас оставили в покое и не трогают»**
>
> **Давид Ингвар,**
> **шведский нейробиолог (1974)**

Двигатель на холостых оборотах? Пассивный режим работы мозга был открыт совершенно случайно – при анализе результатов сканирования в 1990-х годах. Исследователи заметили, что мозг испытуемых не прекращал деятельности, даже когда те лежали в томографе без всякого дела. В те времена ученые все еще разбирались в расшифровке данных томограмм – в особенности как отделять сигналы, связанные с обработкой информации, от случайных всплесков спонтанной деятельности. Поначалу сигналы, наблюдаемые при спокойном состоянии мозга, отметались как белый шум, однако кому-то пришло в голову поразмыслить, нет ли у этих «шумов» каких-нибудь особенных собственных характеристик.

Прежде по умолчанию считалось, что мозг, не занятый никакой конкретной задачей, выдает спонтанные непредсказуемые последовательности сигналов. Однако сканирование, произведенное в периоды покоя, показывало один и тот же низкочастотный сигнал: отдельные области мозга выказывали активность, даже когда испытуемые лежали себе тихонечко в томографе с закрытыми глазами и бездельничали. Эти области мозга получили название сети пассивного режима работы мозга (СПРРМ), и ее устройство подробно описано – она состоит из не менее десятка сетей, активизирующихся в состоянии покоя мозга.

СПРРМ включает в себя полдесятка связанных друг с другом областей мозга в лобной и теменной долях, производящих осциллирующую картину деятельности с частотой 0,1 Гц (один цикл в 10 секунд) или еще реже. Эти участки – медиальная префронтальная кора, вовлеченная в создание «теории сознания», т. е. в воссоздание намерений других людей; медиальная височная доля, играющая важную роль в формировании памяти; задняя часть поясной извилины, которая, среди прочего, объединяет деятельность лобной и височной долей. СПРРМ отрицательно коррелирует с задачами, связанными с вниманием к внешним раздражителям, т. е. деактивируется во время задач, требующих сосредоточенности на внешнем мире, и оживляется, когда мы обращаемся внутрь, к собственным мыслям.

2001
Маркус Райхле с коллегами сообщают об открытии системы пассивного режима работы мозга

2007
Малиа Мейсон с коллегами связывают деятельность СПРРМ с «витанием ума»

2010
Открытие СПРРМ у крыс

2011
СПРРМ обнаружена у обезьян

Сопротивление покою?

Представление о СПРРМ играет центральную роль в нейробиологии, однако не все считают, что она так уж важна. Критики соглашаются, что понимание того, чем мозг занят, когда ум витает, позволит во многом разобраться, однако полагают: то, что мы считаем состоянием покоя, может оказаться чем-то совершенно иным: внутри томографа пространство клаустрофобно и шумно, и деятельность мозга, наблюдаемая у людей, которых попросили ничего не делать, может быть связана с состоянием повышенной настороженности, т. е. активным поиском такого, на что направить внимание. А поскольку метаболизм мозга меняется лишь самую малость, говорят они, из этого следует, что состояние покоя в той или иной степени присуще мозгу при выполнении множества разных задач, а значит, не заслуживает к себе отношения как к особому виду деятельности.

Витания ума В согласии с функциями своих подсистем СПРРМ активизируется во время внутренней работы мысли — вспоминании чего-то из прошлого, воображении будущих событий или попытки представить себя на месте другого человека. Это навело исследователей на размышления, что главная функция пассивного режима — поддержание умственной деятельности, собирательно именуемой «витанием», а именно грезами и воображением.

Знаковое исследование, опубликованное в 2007 году, до некоторой степени подтвердило, что пассивный режим поддерживает витание ума. Исследователи попросили участников эксперимента доложить, как часто их ум принимался витать при выполнении незнакомой и хорошо известной задачи — неудивительно, что все участники сообщили: их ум «уплывал» чаще при выполнении давно понятой задачи. Далее исследователи произвели сканирование мозга испытуемых за выполнением обеих задач и обнаружили, что СПРРМ проявляла бо́льшую активность при исполнении участниками известной им задачи. Витания ума, стало быть, могут подсказать, для какой деятельности мозг развился достаточно.

Воздействия расстройств Деятельность в состоянии покоя нарушается из-за различных нейробиологических расстройств. Например, в одном исследовании обнаружилось, что деятельность СПРРМ у детей-аутистов сокращена при выполнении пассивной задачи и, напротив, не деактивируется во время задачи, требующей умственных усилий, — все наоборот, не как у неаутичного мозга. Была выдвинута гипотеза, что аутизм,

характеризующийся трудностями в социализации, возникает из-за неспособности симулировать чужие действия и намерения. Эта способность связана с медиальной префронтальной корой — частью СПРРМ, — и нетипичная активность в этой области связана с той или иной социальной неприспособленностью, и чем менее типично поведение этой области мозга, тем сильнее эта неприспособленность проявлена вовне.

Еще одна научная работа показывает, что деятельность в состоянии покоя в двух областях СПРРМ — гиппокампе и задней поясной извилине — пригашена у пациентов с болезнью Альцгеймера по сравнению со здоровой контрольной группой. На ранних стадиях заболевания в ключевых областях СПРРМ возникают патологические бляшки. Некоторые исследователи, исходя из этого, предполагают, что активность СПРРМ можно применять для распознания и диагностики этой болезни. Работа СПРРМ нарушена и у пациентов с шизофренией. Проведено исследование, в котором показано, что различные симптомы этого расстройства — например, галлюцинации, бред и спутанность мыслей — связаны с усилением активности медиальной префронтальной коры и задней поясной извилины в состоянии покоя.

В сухом остатке

«Темная энергия» мозга может оказаться сутью его ключевых функций

41 Ритмы мозга

Обширные группы нервных клеток демонстрируют повторяющиеся рисунки деятельности, именуемые ритмами мозга; они отличаются друг от друга по амплитуде, частоте и времени возникновения. Синхронизация этих ритмов внутри той или иной области и между различными участками мозга представляется чрезвычайно важной для процессов обработки нейронной информации.

Отдельные нейроны демонстрируют спонтанные, ритмические последовательности электрической активности в форме потенциалов действия (*см. также главу 4 «Нервный импульс»*), и клетки, расположенные в одной и той же части мозга, образуют ядра, или кластеры, протягивающие аксоны к одному и тому же целевому участку мозга. Такая организация возникает в период развития мозга — так образуются функциональные сети с предельно точными нейронными путями. Клетки внутри таких путей связаны друг с другом не только химическими, но и электрическими синапсами, или щелевыми контактами, позволяющими координировать их деятельность и одномоментное срабатывание.

Синхронизированные всплески электрической активности, генерируемой большим количеством нейронных скоплений, состоящих из миллионов клеток, известны и как ритмы мозга; их можно засечь снаружи черепа с помощью двух методик сканирования: электроэнцефалографически (ЭЭГ) и магнитоэнцефалографически (МЭГ). Со времен их открытия в конце 1920-х годов (*см. стр. 166*) мы знали, что у ритмов мозга свои особые рисунки, однако лишь недавно начали понимать их значимость для обработки мозгом информации.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1875
Ричард Кэтон наблюдает спонтанные электрические ритмы в мозге млекопитающих

1924
Ханс Бергер изобретает ЭЭГ для записи ритмов мозга

1964
Первые сообщения о гамма-ритмах, основанные на электродных записях со зрительной коры обезьян

Ритмы жизни Ритмы мозга обычно характеризуются тремя параметрами. Первый — частота, измеряемая в герцах (количество циклов в секунду); частоты ритмов мозга колеблются от 1 Гц сверхмедленных колебаний до сверхбыстрых — более 600 Гц. Второй параметр — амплитуда, или размер волны; при записи ЭЭГ амплитуды ритмов мозга обычно колеблются от 1 до 10 микровольт. Третий параметр — фаза, или время возникновения волны; эта характеристика может меняться и синхронизировать деятельность нейронов внутри одной области мозга и между разными областями; этот процесс называется фазовой синхронизацией.

Существует по меньшей мере десяток различных рисунков ритмов мозга, среди них:

Альфа-ритмы: низкоамплитудные колебания с частотой от 8 до 12 Гц. Характеризуют спокойное, расслабленное состояние, генерируются преимущественно затылочной долей.

Бета-ритмы: низкоамплитудные колебания с частотой от 12 до 30 Гц. Связаны с бдительным состоянием нормального, бодрствующего сознания и производятся лобными долями, когда мы сосредоточены или осуществляем произвольные движения.

Гамма-ритмы: высокоамплитудные колебания с частотой от 20 до 100 Гц. Гамма-ритмы возникают в затылочной доле и ассоциируются с вниманием; существует предположение, что частоты выше 40 Гц играют важную роль в проявлении сознания.

Тета-ритмы: низкоамплитудные колебания с частотой от 4 до 7 Гц. Особенно сильны в гиппокампе и связаны с обучением и памятью.

Различные области мозга генерируют ритмы в различных диапазонах частот, чтобы избежать помех и, возможно, ради создания множественных перекрывающихся частот коммуникации. К примеру, структуры медиальной височной доли, в том числе гиппокамп, производят ритмы в основном в тета-диапазоне (4–6 Гц), области внешней поверхности теменной доли действуют в бета-диапазоне (12–30 Гц), а сенсорная и двигательная области производят колебания еще более высоких частот (32–45 Гц). Такое распределение частот обусловлено, возможно, разностью видов нейронов или отличиями в клеточной организации тех или иных областей мозга.

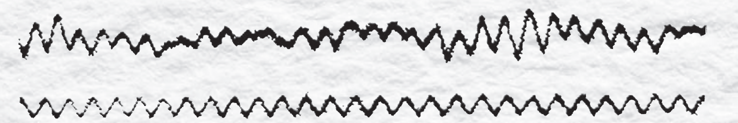
1998
Первые экспериментальные доказательства связи между гамма-ритмами и зрительной связностью

1990
Фрэнсис Крик и Кристоф Кох выдвигают предположение, что гамма-ритмы значимы для сознания

2012
Андреас Энгель с коллегами применяет МЭГ для изучения ритмов различных участков мозга

«Психическая энергия»

Электроэнцефалографию (ЭЭГ) придумал в 1920-х годах немецкий психиатр Ханс Бергер. Его интересовали психические явления вроде телепатии, и он верил, что у них есть физические основания — «психическая энергия», которую можно передавать от человека к человеку. Бергер увлекся изучением перемен в кровоснабжении мозга при той или иной его деятельности. Вдохновившись работами Ричарда Кэтона, британского психолога, открывшего спонтанную электрическую активность в мозге кроликов и обезьян еще в 1870-х годах, он начал применять электроды для измерения электрической активности мозга у пациентов, которым проделывали дырки в черепе перед хирургическими операциями на мозге. Бергер зарегистрировал первую ЭЭГ человека в 1925 году и быстро заметил у ритмов мозга разные рисунки. Он первым описал альфа-ритмы, и они даже были названы его именем. Он заметил, что альфа-ритмы легко подавляются, или замещаются, более высокочастотными бета-ритмами, стоило только испытуемому открыть глаза и перейти из расслабленного в сосредоточенное состояние.



Первая запись ЭЭГ, зарисованная Хансом Бергером

Аналогично клетки внутри того или иного слоя коры головного мозга генерируют ритмы разных частот.

Исследования не только во сне Ритмы мозга традиционно изучали в контексте сна, состоящего из нескольких отдельных фаз, каждая характеризуется определенным волновым рисунком. Однако за последние несколько десятилетий исследователи осознали, что ритмы мозга играют важную роль в многочисленных умственных процессах.

Мы только начинаем понимать роль ритмов мозга в умственных функциях и поведении, однако наше знание этих процессов углубится вместе с усовершенствованием методик сканирования мозга.

Отдельные клетки, активизирующиеся при выполнении некой задачи, могут «перезапустить» таймер своей электрической деятельности и синхронизировать ее с частотами ритмов прилежащих тканей. Эта способность, судя по всему, облегчает мозгу переработку информации. Синхронизированные ритмы в пределах отдельного скопления нейронов

объединяют их в функциональную сеть, и синхрония между нейронными общностями в разных областях мозга может координировать их деятельность и помогать передаче информации между областями. Синхрония может возникать, когда ритмы одной частоты спарены (согласованы) между собой, либо когда низкочастотные ритмы «встроены» в более высокочастотные.

У крыс, занятых задачами на пространственную ориентацию — например, поиском выхода из лабиринта, — ритмы гиппокампа преимущественно в тета-диапазоне, и этот рисунок представляется значимым для улучшения кодирования пространственных воспоминаний. Тета-ритмы также связаны с «перемоткой» в гиппокампе, при которой следы памяти реактивируются после кодирования и тем самым консолидируются (укрепляются).

«Синхронизация нейронной разрядки может служить интеграции распределенных нейронов... и лежать в основе отбора важной для поведения информации»

Андреас Энгель (р. 1943), швейцарский биолог-структуралист

Гамма-ритмы — важная часть феномена сознания, именуемая «задачей связности»: потенциалы действия в разных участках мозга производят объединенное восприятие отдельных предметов. Красный квадрат и синий круг, если посмотреть на них одновременно, к примеру, генерируют одинаковые импульсы, однако откуда мозг «знает», что красный — это квадрат, а синий — круг? Первые исследования, опубликованные в 1988 году, показывают, что наблюдаемые раздражители вызывают в нейронах зрительной коры обезьян синхронные ритмы с частотой 40 Гц, и некоторые выдающиеся исследователи пришли к предположению, что эта частота — важнейшая для зрительного постижения и сознания.

В сухом остатке
Последовательности ритмов мозга задействованы в обработке информации

42 Ошибка прогноза

Мозг постоянно имеет дело с неопределенностью. Он обучается моделям внешнего мира, основанным на ограниченной — и зачастую неоднозначной — информации, и применяет ее для предсказаний причин чувственных переживаний. Наше восприятие — лучшая догадка, найденная в закромах мозга, и сам он, сужая разрыв между предсказанием и действительными результатами, совершенствует свою модель мира.

Каждую секунду бодрствования мозг обрабатывает громадные объемы информации, получаемые от тела и окружающего мира. Бóльшая часть этой информации засорена помехами, неоднозначна или неопределенна, и все же мозгу удается с ее помощью создавать точную внутреннюю модель личности и мира вокруг, и исходя из нее он управляет нашим поведением. Для этого он делает выводы-прогнозы, сравнивает их с действительными чувственными данными, поступающими извне, и определяет причины тех или иных телесных ощущений. Эти выводы составляют наше представление о мире, и оно дополняется, когда возникает разрыв между ожиданиями и результатами.

Понятие «ошибка прогноза» как раз описывает этот разрыв между предсказаниями мозга и входящей чувственной информацией. Согласно этому представлению, мозг учится на своих оплошностях, применяя ошибки прогноза в минимизации необъяснимых чувственных отклонений и оттачивании внутренней модели мира: чем меньше ошибка прогноза, тем точнее модель реальности.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1812

Пьер-Симон де Лаплас публикует свою формулировку теоремы Байеса

1866

Герман фон Гельмгольц описывает зрительное восприятие как бессознательные выводы, основанные на имеющемся знании

Байесов мозг

Математик XVIII века Томас Байес предложил статистическую теорему, которая описывает, как меняются представления людей в свете новых сведений. Этот процесс, именуемый байесовским выводом, оценивает степень истинности в понятиях вероятностей. Теорема Байеса объясняет, как новая информация меняет вероятность того, что исходное убеждение верно. Чаще всего теорема записывается в виде уравнения, определяющего соотношение между вероятностями (P) двух событий A и B. Многие нейробиологи, занимающиеся математическими расчетами, называют мозг байесовой машиной вероятностей, которая делает выводы о внешнем мире, а затем уточняет их согласно поступающей чувственной информации. Мозг обращается с невнятными чувственными данными статистически: он оценивает вероятность истинности своих прогнозов. По мере поступления новой информации мозг корректирует вероятность истинности того или иного предсказания и приводит в соответствие внутренние модели мира.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)\ P(A)}{P(B)}$$

Уравнение теоремы Байеса

Нейробиологи ныне применяют это представление как объединенную теорию функционирования мозга для объяснения совместной работы восприятия, мышления и деятельности по минимизации таких ошибок, а также в качестве иллюстрации к разладам в мыслительном процессе, обусловленным психическими расстройствами типа шизофрении.

Заполнение пробелов Зрительное восприятие – вероятно, лучший пример того, как мозг делает выводы, основываясь на недостаточной и неоднозначной информации. Восприятие часто называют процессом «снизу вверх»: чувственные данные поступают через глаза, и, проходя иерархические все более усложняющиеся стадии обработки, эти данные реконструируются до зрительной картинки, которую мы воспринимаем.

Вообще-то еще выдающийся экспериментальный психолог Герман фон Гельмгольц предположил аж в XIX веке, что наше восприятие работает и по механизмам «сверху вниз», т. е. требует изрядно прогнозов, а мозг, чтобы

1983
Джеффри Хинтон предполагает, что мозг принимает решения, основываясь на неопределенности окружающего мира

1980-е
Крис Фрит предполагает, что неполадки с коррекцией ошибки прогноза могут объяснить симптомы шизофрении

2005
Карл Фристон формулирует принцип свободной энергии

Принцип свободной энергии

В качестве меры непредсказуемых флуктуаций самоорганизующихся систем была предложена свободная энергия. В нервной системе она равна степени расхождения между ожиданиями и результатом. Принцип свободной энергии гласит, что мозг стремится к минимизации свободной энергии, чтобы кодировать информацию как можно эффективнее.

осмыслить неполную зрительную информацию, применяет имеющееся у него знание.

Глядя на мир вокруг, мы редко видим те или иные предметы целиком. Зачастую нам видна лишь их часть — мы смотрим на них под разными углами со случайных точек, и другие предметы могут частично заслонять их от нас. Тем не менее наши представления о зрительном восприятии достаточно точны, чтобы мы в основном безошибочно определяли разные предметы. Мы, к примеру, можем запросто идентифицировать стул, даже если он частично спрятан под столом, и нам ни разу прежде не доводилось видеть именно такую разновидность стульев. А все потому, что мозг дополняет пробелы в чувственных данных с помощью уже имеющегося знания о форме и функциях этого класса предметов и делает предположение о том, что за штука перед нами. Иными словами, несмотря на возможную неполноту чувственных данных, их, как правило, более чем достаточно, чтобы подтвердить наши ожидания.

Деятель и функция, я и другой Осуществление произвольных движений — одна из первичных функций мозга. Мы планируем движение, а мозг генерирует опережающую модель, предсказывающую чувственные и поведенческие последствия нашего действия. Затем он сравнивает свои предсказания с действительным результатом. Близкое совпадение прогноза и результата — сущностное качество свободы действия, т. е. нашего ощущения контроля собственных действий, что, в свою очередь, есть неотъемлемый компонент самосознания. Кроме того, мы симулируем действия других людей — чтобы делать прогнозы об их поведении и намерениях; эта способность называется теорией сознания (*см. стр. 45*).

Недавние томографические исследования показали, что ошибки прогноза наших решений и решений других людей кодируются в разных областях префронтальной коры.

Исследователи изучили мозг участников эксперимента во время выполнения простых оценочных задач на принятие решения и составления предположений о том, как с этой задачей справятся другие люди. Помимо предсказания чужих поступков, участников попросили еще и прикинуть, какое вознаграждение они получат за свои действия. Чем крупнее ошибка

прогноза в симулируемых действиях, тем ярче она проявляется в дорсолатеральной и дорсомедиальной префронтальной коре. Аналогично, чем больше ошибка прогноза симулируемой награды, тем активнее вентромедиальная префронтальная кора.

Ошибка кодирования Люди, страдающие шизофренией, бывает, испытывают слуховые и зрительные галлюцинации: внутренне генерируемые раздражители ошибочно воспринимаются как сигналы, поступающие извне. У пациентов с таким расстройством случаются и нарушения свободы действия, что приводит к бреду воздействия — приписыванию своих мыслей и действий неким внешним силам. Все эти симптомы можно объяснить в понятиях кодирования и отклика мозга на ошибку прогноза.

> **«Вся деятельность мозга сводится к одному: исправление ошибок»**
>
> **Росс Эшби (1903–1972), британский психиатр, кибернетик**

Исследование, опубликованное в 2010 году, показывает, что пациентам с шизофренией трудно делать точные предсказания о чувственных последствиях своих действий, и чем менее точен прогноз, тем острее бред воздействия. Бред и галлюцинации — неоднозначные переживания, которые пациенты объясняют неправдоподобными представлениями. Шизофренику, бывает, слышатся голоса в голове, а он ошибочно приписывает их злым силам. Такой эффект может возникать потому, что пациенты слишком полагаются на внешние раздражители и никак не оценивают их подлинность. Их внутренние модели не подлежат уточнению в соответствии с чувственными переживаниями. Как следствие, их внутренние модели расходятся с действительностью, а невероятные убеждения поддерживаются.

В сухом остатке
Мозг — машина логического вывода

43 Стволовые клетки мозга

Мозг содержит несколько областей обновляющихся стволовых клеток, что увеличивает вероятность его способности восстанавливаться после травм. Нейрональные стволовые клетки можно использовать и для выращивания клеток мозга в лабораторных условиях, а это значит, что есть надежда на клеточную трансплантационную терапию при различных нейробиологических расстройствах. Однако полный потенциал стволовых клеток мозга еще предстоит познать.

Стволовые клетки – незрелые, неспецифические клетки, способные дифференцироваться в специализированные; у них есть несколько характерных особенностей. Они – обновляющиеся, т. е. способны делиться и создавать копии себя самих, и плюрипотентные, т. е. могут превращаться в любую специфическую клетку тела. Стволовые клетки мозга чуть более специализированы: они могут преобразовываться в различные виды нейронов и глии мозга и поэтому называются мультипотентными.

Эмбриональные стволовые клетки, как подсказывает название, имеются в телах эмбрионов. На самых ранних стадиях развития человеческий эмбрион состоит из шарообразной общности стволовых клеток, которые, хоть поначалу и одинаковые, становятся клетками всех видов, какие есть в теле человека. Клетки, используемые в научных исследованиях, выращены из искусственно оплодотворенных яйцеклеток в чашках Петри.

Изучение эмбриональных стволовых клеток вызывает массу противоречий, и во многих странах это крайне щекотливая политическая тема. У взрослых стволовые клетки есть почти во всех органах тела, где они

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1981
Исследователи из Кембриджа и Сан-Франциско впервые выделяют эмбриональные стволовые клетки

1992
Брент Рейнолдз и Сэм Вайсс выделяют стволовые клетки из мозга взрослой мыши

1998
Фред Гейдж с коллегами обнаруживают стволовые клетки в мозге взрослого человека

играют ключевую роль в поддержании жизни тканей и их заживлении. Костный мозг, например, состоит из гематопоэтических (способных превращаться в различные виды кровяных) стволовых клеток, а кожа содержит клетки, замещающие мертвые, постоянно отшелушивающиеся с ее поверхности.

До недавнего времени считалось, что мозг – исключение. В 1990-х годах, однако, исследователи открыли стволовые клетки в мозге мышей, а следом и у человека. Нейроны, производимые из стволовых клеток взрослой мыши, играют важную роль в работе мозга, а вот применимо ли это к человеку, пока не ясно. Есть кое-какие подтверждения, что стволовые клетки мозга могут участвовать в образовании опухолей в мозге.

Тем не менее стволовые клетки, добытые из мозга взрослого человека, можно вырастить в лабораторных условиях, и так растят зрелые функциональные клетки всех разновидностей: нейроны, астроциты и олигодендроциты (*см. стр. 12–13*). Это дает надежду на возможность

Лабораторно выращенные части мозга

Японские исследователи обнаружили, что эмбриональные стволовые клетки мыши могут самоорганизовываться в сложные трехмерные структуры, если выращивать их во взвесях-суспензиях и питать правильной комбинацией сигнальных молекул. В первых экспериментах они использовали эту специально разработанную методику для выращивания ткани мозга, которую потом успешно пересадили новорожденной мыши. Позднее они применили стволовые клетки для выращивания частей гипофиза, и те после подсадки в мозг мыши оказались полностью функциональны. А совсем недавно эти же исследователи применили эмбриональные стволовые клетки человека для выращивания клеток сетчатки, полностью укомплектованных еще и светочувствительными рецепторами. Эта работа — авангард зарождающейся области исследований, именуемой тканевой инженерией, и может привести к возникновению новых методик лечения неврологических расстройств. Рано или поздно исследователи смогут растить ткани мозга, содержащие определенные виды нейронов. Эти ткани можно будет пересаживать в мозг, а лабораторно выращенная сетчатка, кто знает, в один прекрасный день восстановит зрение людям с макулодистрофией*.

* Общее название для группы заболеваний, при которых поражается сетчатка глаза и нарушается центральное зрение.

2001
США запрещают федеральное финансирование новых исследований стволовых клеток

2006
Из мышечных клеток мыши произведены индуцированные плюрипотентные стволовые клетки

2009
США снимает запрет на федеральное финансирование исследований стволовых клеток

2012
Ёсики Сасаи с коллегами выращивают ткань сетчатки из эмбриональных стволовых клеток человека

их применения в разработке лечения неврологических заболеваний, и этой работой заняты многочисленные исследовательские группы по всему миру.

Преодоление препятствий Стволовые клетки мозга, судя по всему, можно применять в разрабатываемых методах лечения широкого диапазона неврологических расстройств, включая болезни Альцгеймера, Паркинсона и заболевания двигательных нейронов, травмы позвоночника и инсульты. В отношении как раз инсультов исследователи пробуют два подхода: первый – заставить активизироваться стволовые клетки, уже имеющиеся в мозге, и второй – применить эмбриональные или стволовые клетки мозга для выращивания тех или иных видов зрелых нейронов в лаборатории, а затем пересадить их в мозг.

Из этих двух стратегий вторая – более многообещающая. Десятилетия исследований механизмов развития мозга выявили многие особенности специализации эмбриональных стволовых клеток в различные разновидности зрелых нейронов и глии. Например, располагая этими знаниями, ученые могут растить из эмбриональных клеток человека дофаминергические нейроны среднего мозга, отмирающие при болезни Паркинсона, или двигательные нейроны, погибающие при боковом амиотрофическом склерозе и похожих расстройствах. Более того, нейроны, произведенные таким методом и подсаженные в мозг животных, способны облегчать симптомы болезней.

> **Потенциально мозг располагает собственным резервуаром стволовых клеток, которые, хотя бы в принципе, можно задействовать в восстановлении мозга**
>
> **Фернандо Ноттебом (р. 1940), американский нейробиолог**

Перенос результатов экспериментов с животными в терапевтическую практику поначалу оказался непрост. Исследователи столкнулись с множеством технических препятствий: как направить клетки к соответствующей части мозга и как поддержать жизнь в пересаженных клетках необходимое для приживления время. Эти трудности уже преодолены, и клинические испытания на людях – пациентах с инсультом, травмой позвоночника, боковым амиотрофическим склерозом и болезнью Паркинсона – уже происходят. В ходе этих экспериментов клетки, утерянные в результате болезни или травмы, замещают стволовыми клетками, впрыснутыми в пораженную область.

Такие терапевтические методы все еще находятся на ранних стадиях опробования, однако первые итоги, судя по всему, удовлетворительны, а шквал открытий в исследованиях стволовых клеток в последние годы, несомненно, ускорит разработку методов лечения.

Клетки надежды Клетки, взятые из кожи, мышц и других частей взрослого человеческого тела, можно превратить в стволовые, похожие на те, что имеются в эмбрионах. Эти так называемые индуцированные плюрипотентные стволовые клетки можно перепрограммировать, чтобы из них получались мозговые или иные специализированные клетки различных видов. Эта линия исследований также применяет второй подход: процедура перепрограммирования включает в себя введение в клетки особых генов, заставляющих их дифференцироваться определенным путем либо редифференцироваться в эмбриональное состояние.

Результаты, безусловно, заманчивы. В 2008 году американские ученые взяли клетки кожи 82-летней женщины с боковым амиотрофическим склерозом, превратили их в плюрипотентные стволовые клетки, а затем — в двигательные нейроны. А в 2011 году группа японских исследователей показала, что промежуточный этап этого превращения не обязателен: они забрали фибробласты (клетки соединительной ткани) пациентов с болезнью Альцгеймера и превратили их в функциональные нейроны напрямую.

Индуцированные плюрипотентные стволовые клетки обещают новый подход к исследованиям неврологических заболеваний. Клетки пациентов с неврологическими расстройствами можно превратить в нейроны и вырастить в лаборатории, что даст исследователям возможность разобраться в клеточном механизме болезни. Однако несколько недавних работ показывают, что индуцированные плюрипотентные клетки могут иметь генетические отклонения, что заставляет усомниться в их полезности.

В сухом остатке

Стволовые клетки могут, в принципе, восстанавливать повреждения мозга

44 Стимулирование мозга

На деятельность мозга можно влиять электрической или магнитной стимуляцией. Эти методики применимы и к изучению мозга пациентов перед нейрохирургическими операциями, и к лабораторному исследованию мозга, и для облегчения реабилитации после черепно-мозговых травм, равно как и для расширения умственных способностей здоровых людей.

Словосочетание «электростимулирование мозга» рисует образ варварского электрошокового лечения, применявшегося к пациентам психиатрических клиник, как в книге Кена Кизи «Пролетая над гнездом кукушки». Конечно, электрошоковая терапия широко применялась в прошлом, но в наше время это редкость. Однако другие методы электрической стимуляции полезны и в клинической, и в лабораторной практике, а некоторые, возможно, эффективны в лечении неврологических и психических расстройств.

Краткая история История электрической стимуляции мозга началась в 1870-х с экспериментов немецкого врача Эдуарда Хитцига, работавшего в военном госпитале во время Франко-прусской войны. Хитциг лечил многих раненых в голову солдат — у некоторых были вырваны фрагменты черепа — электродами, подсоединенными к аккумулятору и приложенными к оголенному мозгу. Позднее он вместе с Густавом Фритчем привязывал собак к туалетному столику своей жены и применял электрический ток к их мозгу. Эти эксперименты показали, что стимулирование определенного участка мозга (двигательной коры) вызывало движения в зеркально противоположной от стимулируемого полушария части тела.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1771
Луиджи Гальвани открывает биоэлектричество

1870
Эдуард Хитциг и Густав Фритч публикуют работу по электростимуляции мозга собаки

1920-е
Уайлдер Пенфилд проводит первую электростимуляцию мозга бодрствующих пациентов

В 1920-х годах нейрохирург Уайлдер Пенфилд впервые применил электрическую стимуляцию в исследовании мозга пациентов с эпилепсией, находившихся при этом в сознании перед операцией. Хирургическое вмешательство, крайняя мера для пациентов, которым не помогают лекарства, требует внимательной оценки мозговой ткани, в которой зарождаются судороги, чтобы не повредить прилегающие ткани с важными функциями.

Пенфилд производил местную анестезию головы пациентов, вскрывал им череп и стимулировал мозг на участке, вызывающем судороги, и в прилегающих областях. Поскольку пациенты пребывали в сознании, они могли сообщать об ощущениях от стимуляции. Таким способом Пенфилд определял ткани с отклонениями и обходил стороной прилегающие, обеспечивающие речь, память, движение. Эта процедура также позволила ему составить карту областей мозга, выполняющих сенсорные и двигательные функции, и эта карта по-прежнему в широком ходу.

‘Пропусканием тока через голову можно легко добиться движения глазами’

Эдуард Хитциг (1839–1907), немецкий невролог, и Густав Фритч (1837–1927), немецкий анатом

«Стимулятор» мозга Глубокая стимуляция мозга (ГСМ) — экспериментальная процедура, включающая имплантацию тонких проводков-электродов в ту или иную область мозга. Имплантированное устройство подключено к батарейке, размещенной под кожей на груди или прикрепленной к внутренней поверхности черепа. Прибор, часто именуемый «стимулятором мозга», меняет деятельность целевого участка мозга регулярным электрическим сигналом.

В 2002 году Управление по надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (ФДА*) разрешило применение ГСМ к пациентам с болезнью Паркинсона, и с тех пор ее получили примерно 80 000 больных. Некоторым пациентам предлагает такое лечение и Государственная служба здравоохранения Великобритании. ГСМ, приложенная к нескольким участкам мозга, занятым контролем движений, облегчает симптомы заболевания.

** Food and Drug Administration (англ.).*

Ныне эта методика применяется в экспериментальном лечении различных расстройств, включая депрессию, синдром навязчивых состояний и различных зависимостей.

1938
Уго Черлетти и Лучо Бини предлагают электрошоковую терапию как психиатрический метод

1985
Энтони Баркер с коллегами публикуют первое исследование эффектов ТМС на человека

2002
ФДА Соединенных Штатов разрешает ГСМ как метод лечения болезни Паркинсона

Стимуляция мозга «сделай сам»

Движение «сделай сам» применительно к человеческому мозгу все более набирает обороты: кое-кто уже использует транскраниальную электрическую стимуляцию (ТЭС) в домашних условиях в надежде улучшить свои умственные способности. Соорудить такой прибор довольно просто — из дешевых свободно продающихся запчастей: нужно разжиться 9-вольтовой батарейкой и электропроводами, а вообще же минимум одна американская компания просто продает готовые наборы для ТЭС. Они рекламируются как «крутейший прибор для здоровья/самосовершенствования», и любой желающий взломать себе мозг может купить этот прибор за 99 долларов. Применение ТЭС в контролируемых экспериментальных условиях безопасно и не имеет, судя по всему, никаких вредных побочных эффектов, если на силу и продолжительность воздействия стимуляции налагаются жесткие ограничения. Однако люди, ставя эксперименты на себе и не соблюдая эти правила, подвергают себя риску.

В 2012 году нейрохирурги, оперировавшие эпилептических больных, сообщили, что ГСМ способна активизировать образование пространственных воспоминаний, если направить ее на участок мозга под названием «энторинальная кора». Эти наблюдения, пусть и предварительно, предполагают, что ГСМ может, по сути, компенсировать ущерб, нанесенный памяти пациентов болезнью Альцгеймера, а также укреплять память здоровых людей.

Несмотря на широкое применение, нам по-прежнему непонятно, как именно работает ГСМ и почему одним пациентам она приносит больше пользы, а другим — меньше. Методика предполагает хирургическое вмешательство, а потому несет риск инфекции и необратимого ущерба для мозга. Более того, у некоторых больных возникают нежелательные побочные эффекты, а отложенные последствия все еще не выяснены.

Эта шапка ни на ком не горит

Транскраниальная электрическая стимуляция (ТЭС) — безоперационная методика электрической стимуляции, в которой к поверхности мозга применяется постоянный электрический ток, подводимый через плотную шапочку с электродами. При этом меняются электрические свойства нейронов целевой области, что приводит к усилению или ослаблению активности нейронов — в зависимости от способа приложения тока.

Как именно работает ТЭС, пока непонятно, однако первые исследования показывают, что она может помогать пациентам после инсульта вновь учиться двигаться и говорить, и клинические испытания подтверждают пользу метода для страдающих болезнью Паркинсона. Есть и предварительные показания к применению ТЭС для улучшения внимания, памяти и двигательных навыков у здоровых людей. На основании этих данных ТЭС уже применяют в армии США при подготовке снайперов и пилотов.

Магнитные эффекты Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) – еще одна безоперационная методика стимуляции мозга; в ней применяется восьмеркообразная петля, через которую к тем или иным участкам мозга применяют быстро меняющееся импульсное магнитное поле. Благодаря этому в мозге возникают слабые электрические токи, усиливающие или гасящие активность нейронов.

ТМС применяется в клинических условиях и для диагностики, и в терапевтических целях. Ее можно задействовать, например, при изучении функций тех или иных частей мозга, для оценки ущерба, нанесенного инсультом, и при заболеваниях двигательных нейронов и рассеянном склерозе. Методику также проверили при лечении различных неврологических и психических расстройств, однако в основном исследования демонстрируют довольно скромные результаты. И все же метод вполне может оказаться действенным для некоторых пациентов с тяжелой депрессией.

ТМС к тому же широко используют для лабораторного изучения деятельности мозга. Типовой эксперимент включает в себя вмешательство в работу той или иной целевой области мозга, чтобы проверить, участвует ли она в выполнении той или иной задачи или нет. Испытуемого, например, просят что-нибудь написать, а ученые тем временем врубают ток по двигательной коре и нарушают нейронный контроль руки.

В сухом остатке
Электрошапки в помощь и поддержку мозгу

45 Улучшение умственной деятельности

Улучшение умственной деятельности осуществляется множеством разнообразных методов, активизирующих функции мозга, однако чаще всего имеют в виду «умные препараты», нацеленные на улучшение ментальных способностей, в первую очередь — внимания и памяти. Потребление этих лекарств в последние годы возросло, а вместе с ним и беспокойство об их безопасности и этических последствиях для общества.

Люди традиционно улучшали состояние мозгов образованием и различными умственными упражнениями, а во многих культурах для поддержания бодрости веками применяли кофеин и никотин. Современная нейробиология предлагает новые способы взбодрить работу мозга, собирательно именуемые улучшением умственной деятельности, и они включают в себя и операционное, и безоперационное стимулирование мозга, а также применение так называемых «умных препаратов».

Взлом мозга Мозг можно стимулировать безоперационно, применяя транскраниальные электростимуляцию (ТЭС) и магнитную стимуляцию (ТМС). Обе методики используют и экспериментально, и клинически, однако есть некоторые данные и об их применимости к здоровым людям. Растет сообщество людей – «хакеров мозга», – практикующих эти методы по принципу «сделай сам», хотя до сих пор неясно, насколько безопасна и эффективна такая практика вне контролируемых лабораторных условий.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1917
Карл Лэшли обнаруживает, что стрихнин способствует обучению у крыс

1948
«СИБА Фармасьютиклз» (ныне «Новартис») регистрирует торговую марку «Риталин»

1964
Корнелиу Джурджа синтезирует пирацетам — первый «умный» препарат

Глубокая стимуляция мозга (ГСМ) — экспериментальная хирургическая методика, при которой в те или иные участки мозга вживляются электроды. Ее применяют для лечения болезни Паркинсона и еще нескольких расстройств, в том числе депрессии и синдрома навязчивых состояний; предварительные результаты показывают, что при помощи ГСМ можно укреплять функции мозга — например, память — у здоровых людей. ГСМ — методика с серьезным хирургическим вмешательством, и потому ее применение для улучшения умственной деятельности вряд ли получит широкое распространение.

«Человек не собирается сидеть и ждать миллионы лет, пока эволюция предложит ему мозг получше»

Корнелиу Джурджа (1923–1995), румынский физиолог, химик

«Умные» лекарства? Самый расхожий метод улучшения деятельности мозга — прием «умных» препаратов, или ноотропов. Многие относятся к категории лекарств по рецепту — назначаемых от специфических нейропсихических или иных расстройств, однако растет их потребление и среди здоровых людей. Есть и такие ноотропы, которые были разработаны и продвигаются на рынке как специально предназначенные для улучшения умственной деятельности. Понятие «умные лекарства» неточно, потому что умнее от них люди не делаются. Эти препараты способны помочь здоровым людям повысить продуктивность, поддерживая процессы внимания, сосредоточенности и памяти. Существует масса разнообразных ноотропов, широкое хождение имеют психостимуляторы, обычно прописываемые как лекарство, в том числе:

Декстроамфетамин (торговое название в США — аддерал*): смесь амфетаминовых солей, применяемая для лечения СДВГ. Воздействует в основном на дофаминергическую систему, увеличивает концентрацию этого нейромедиатора в синапсах двумя способами: не дает нейронам втягивать дофамин после его выброса (связывается с поверхностным белком клетки — переносчиком дофамина), а также ингибирует фермент моноаминоксидазу, который обычно расщепляет дофамин, а также серотонин, адреналин и норадреналин. Аддерал, воздействуя на префронтальную кору, улучшает рабочую память и способность сосредоточиваться.

* Препарат в России не зарегистрирован; декстроамфетамин (дексамфетамин, *D*-амфетамин) включен в список I наркотических средств и психотропных препаратов, с 1998 г. запрещен в РФ.

1983	1986	2002	2012
Начинается исследование и разработка донепезила	Модафинил продается во Франции как средство от нарколепсии	Стэнфордские исследователи обнаруживают, что донепезил улучшает память	Ицхак Фрид с коллегами сообщают: ГСМ улучшает пространственную память

Препараты для улучшения памяти

Почти век назад психолог Карл Лэшли обнаружил, что стрихнин способствует обучаемости крыс. Стрихнин известен прежде всего как пестицид, но в малых дозах действует как стимулятор: ингибирует фермент ацетилхолинэстеразу, расщепляющий нейромедиатор ацетилхолин. Донепезил, лекарство от болезни Альцгеймера, разработанное в 1980-х годах, ингибирует тот же фермент. В результате у пациентов с болезнью Альцгеймера замедляется потеря памяти, а у здоровых людей улучшаются умственные способности, т. е. его можно применять и как «умный» препарат. Десятилетия тестов на животных выявили еще одну ключевую для памяти молекулу. В 2000 году Эрик Кэндел из университета Коламбиа получил Нобелевскую премию за работу с морскими брюхоногими, в которой он показал, что обучение происходит по нескольким синаптическим механизмам и требует фермента CREB (транскрипционный фактор). В 1998 году Кэндел основал фармацевтическую компанию для разработки и производства лекарств, увеличивающих концентрацию CREB в мозге. Эти препараты планируется использовать в терапии болезни Альцгеймера и для замедления возрастных ухудшений умственной деятельности здоровых людей.

Метилфенидат (риталин)*: еще один стимулятор, применяемый для лечения СДВГ. Его молекулярная структура сходна с таковой у амфетаминов, и работает он похоже — воздействует на дофаминергическую систему в префронтальной коре. Поначалу, в 1955 году, Управление по надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США разрешило применять риталин, и его в 1990-х активно прописывали от СДВГ. Он также разрешен для лечения этого расстройства в Канаде, Австралии и нескольких европейских странах, включая Великобританию.

Модафинил (провигил)**: неамфетаминовый стимулятор, прописываемый для лечения сонливости, обусловленной нарколепсией. Поскольку модафинил способен поддерживать людей в состоянии бодрствования довольно долго, его также прописывают работающим длинные или ночные смены. Модафинил сейчас применяется в вооруженных силах США, Британии, Китая, Франции и Индии для преодоления результатов депривации сна, разрушительно воздействующей на качество армейской службы.

Ноотропы в наше время легкодоступны в интернете, и их немедицинское применение набирает обороты. Тенденция эта особенно сильно проявлена в университетской среде. Согласно опросу, проведенному в 2005 году, почти 7% студентов американских университетов принимали «умные» препараты, а в некоторых студгородках эта цифра достигает 25%. В опросе читателей научного журнала *Nature*

* Включен в список I наркотических средств и психотропных препаратов, с 1998 г. запрещен в РФ.

** Включен в список II наркотических средств и психотропных препаратов РФ (оборот строго контролируется).

несколько лет назад каждый пятый из примерно 1 400 ответивших — в основном ученые и другие научные работники — признался, что употреблял рецептурные препараты для усиления внимания или сосредоточенности.

Среди опрошенных самым популярным ноотропом оказался риталин. Судя по всему, и среди подростков эта тенденция есть: им приходится справляться с растущим напряжением школьной образовательной программы.

Принять иль не принять? Тема «умных» препаратов поляризовала и научное сообщество, и публику. Одни открыто поддерживают применение ноотропов: их безопасное применение может принести массу пользы и употребляющим, и обществу в целом. Другие протестуют. Они считают применение ноотропов «жульничеством» и полагают, что их использование создаст обществу трудности, а не пользу. В спорте применение стимуляторов жестко регулируется. Не должны ли быть подобные же правила контроля улучшения умственной деятельности и в школе, и на рабочих местах? Не возникнет ли давление на тех, кто не хочет употреблять эти препараты, если все вокруг будут их применять? И как быть с теми, кто хочет их использовать, но не имеет на это средств? Повальное употребление ноотропов может усилить социальное неравенство.

«Если нам хватило ума изобрести технологию, увеличивающую возможности мозга, нужно пользоваться этим преимуществом»

Майкл Гадзанига (р. 1939), американский психолог

Безопасность и эффективность — тоже немаловажные факторы. Системы нейромедиаторов чрезвычайно сложны, и воздействие на них может повлечь за собой нежелательные — неведомые — последствия. Даже если ноотропы при применении здоровыми людьми не имеют немедленных побочных эффектов, долгосрочные по-прежнему не изучены. Более того, мы толком не знаем, насколько они эффективны. Лабораторные тесты воздействия «умных» препаратов на качество выполнения различных умственных задач показывают неоднозначные результаты. Почти наверняка воздействие ноотропов индивидуально, и даже у одного человека последствия могут быть разными в зависимости от ситуации.

В сухом остатке
Препараты и устройства для бодрости мозга

46 Сканирование мозга

«Сканирование мозга» и «нейровизуализация» — понятия, обычно относящиеся к функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), методу, которым косвенно измеряют активность мозга: его часто используют, чтобы посмотреть, какие части мозга «подсвечиваются» во время выполнения тех или иных умственных задач. Мы по-прежнему не понимаем, как это работает, а методики расшифровки данных фМРТ нередко подвергаются критике.

Словосочетание «сканирование мозга» собирательно относится к множеству методик, применяемых для визуализации структуры живого человеческого мозга и его откликов на раздражители.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) регистрирует электрическую активность больших общностей нейронов у поверхности коры головного мозга при помощи электродов, размещенных на черепе.

Магнитная энцефалография (МЭГ) похожа на ЭЭГ, но регистрирует магнитные поля, возникающие в результате электрической активности в мозге. Она чувствительнее ЭЭГ, но и дороже.

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) — метод, отслеживающий движения радиоактивных «контрастных» веществ, введенных в тело. Его применяют для измерения кровотока, энергопотребления и концентрации белков-рецепторов и других важных молекул.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) также применяется для получения изображений структур мозга и для обнаружения структурных изменений, возникающих при заболеваниях типа Альцгеймера. Она почти вытеснила рентген, поскольку безопаснее и дает более подробные изображения.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1890
Чарлз Рой и Чарлз Шеррингтон увязывают кровоснабжение с клеточным метаболизмом в мозге

1929
Ханс Бергер изобретает ЭЭГ

1961
Джеймз Робертсон с коллегами собирают первый прибор для ПЭТ

Диффузионно-тензорная визуализация (ДТВ) – разновидность МРТ, позволяет измерять сигналы, возникающие при движении молекул воды в мозге. Она дает возможность визуализировать нейронные пути в белом веществе мозга, содержащие массивные пучки миелинизированных аксонов, что связывают удаленные участки мозга друг с другом.

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) регистрирует активность мозга по содержанию в крови кислорода. У нее есть свои преимущества перед ЭЭГ и ПЭТ: она показывает деятельность глубочайших слоев мозга, но при этом не требует никакого вмешательства в орган – не нужно впрыскивать радиоактивные вещества.

Обычно, когда говорят «сканирование мозга», имеют в виду фМРТ; применение этого метода значительно расширилось в последние десять лет, и сам он чарует публику красивыми картинками. Ежегодно обнародуются тысячи фМРТ-исследований, многие перепечатываются СМИ с кричащими заголовками типа: «Ученые обнаружили область мозга, отвечающую за (то-то и то-то)». В последние годы, однако, нейробиологи осознали, что результаты фМРТ – штука гораздо более сложно устроенная.

Мозг за работой В фМРТ для регистрации изменений в содержании в крови кислорода применяют мощные магниты. Метод основан на предположении, что задействованные в той или иной деятельности клетки мозга требуют дополнительной энергии в виде кислорода. фМРТ засекает так называемые *BOLD**-сигналы, и это – косвенное измерение активности мозга.

* *Blood-oxygen-level-dependent* (*англ.*) — зависящий от уровня кислорода в крови.

Типовое фМРТ исследование – сканирование мозга людей, которым поставлена та или иная умственная задача, и сравнение полученных данных с базовым состоянием испытуемого, когда он ничем не занят. Получаемая трехмерная картинка показывает, как деятельность различных областей мозга связана с выполнением задачи. Сканы фМРТ часто выдают десятки тысяч отдельных точек-вокселов**. Каждый воксел соответствует крошечному кубику мозговой ткани объемом примерно в один кубический миллиметр, содержащий около 50 000 нейронов. Исследователи, как правило, сосредоточиваются на вокселах из небольшого числа заранее определенных «зон интереса» и сравнивают их активность во время выполнения задачи и в покое, из чего делают выводы об относительных изменениях.

* От англ. *volume pixel* — объемная точка.

1968
Дэйвид Коэн впервые измеряет сигналы МЭГ

1990
Сэйдзи Огава с коллегами разрабатывают фМРТ

2009
Евгений Сиротин и Анирудда Дас обнаруживают опережающий приток крови

Критика BOLD С фМРТ есть одна неувязка: этот метод измеряет активность мозга лишь косвенно. Нам по-прежнему неизвестно, как мозг испускает *BOLD*-сигналы и как они соотносятся с нейронной деятельностью, а предположение, что усиление притока крови к некоему участку мозга означает рост его активности в этой области, вызывает вопросы (*см. вставку*).

BOLD-сигналы, регистрируемые фМРТ, к тому же мелкие и «шумные», т. е. для распознания активизации мозга необходима сложная статистическая обработка.

При грамотном применении результаты этой статистической обработки состоятельны, однако некоторые исследователи не придерживаются необходимых руководств по обработке. Более того, уже известно, что даже дыхание испытуемого и его движения головой влияют на регистрируемые сигналы, а недавнее исследование показало, что одни и те же данные фМРТ могут приводить к разным результатам обработки, если анализировать их при помощи разных компьютерных программ.

Но сильнейшей критике подвергается интерпретация данных. Ученые, толкуя данные фМРТ, часто производят так называемые «обратные выводы». Представьте некое гипотетическое фМРТ-исследование, показывающее, что участок мозга *A* активизируется во время выполнения задачи *X*. Исследователи смотрят на уже полученные ранее результаты и обнаруживают, что этот же участок активизируется при умственном процессе *Y*. Из этого они делают вывод, что задача *X* зависит от процесса *Y*.

На шаг впереди

Метод фМРТ основывается на допущении, что усиление мозговой деятельности связано с усилением притока крови, однако принимать по умолчанию, что всегда так и происходит, не годится. В 2009 году исследователи из Колумбийского университета сделали томограмму мозга обезьян, пока те разглядывали картинки, и обнаружили, что активность зрительной коры довольно точно соответствовала, как и ожидалось, усилению притока крови к этой области. Однако, к своему удивлению, они заметили, что усиление притока крови наблюдалось и когда обезьянам не предлагали никаких зрительных раздражителей. Ученые сделали вывод, что мозг предвосхищает притоком крови деятельность в областях, от которых она ожидается, даже если они потом и не активизируются. Из этого открытия может следовать, что усиление кровоснабжения той или иной области мозга не обязательно связано с повышением активности нейронов, а значит, это ставит под сомнение достоверность данных фМРТ.

К сожалению, какой бы привлекательной эта логика ни казалась, она ошибочна: даже если участок А бесперебойно «подсвечивается» во время задачи *X*, мы не можем заключить, что задача *X* выполняется всегда, когда мы видим активность на участке *A*.

Обратный вывод связан с обманчивым и упрощенческим представлением, что каждая отдельная область мозга отвечает за некую конкретную черту поведения. Мозг — сложная структура из сотен выраженных специализированных областей, но ни одна не действует сама по себе, и любое человеческое поведение есть результат объединенной деятельности многих участков. Так, область *A*, активизировавшаяся в нашем гипотетическом фМРТ-исследовании, вероятно, занята и другими умственными процессами и оживляется при выполнении других задач тоже.

‘Чем дольше смотришь на результаты фМРТ, тем больше извлекаешь осмысленных данных. То, что поначалу казалось шумом, теперь вдруг похоже на сигнал’

Питер Бандеттини, американский нейробиолог (2012)

Эти критические соображения привели некоторых нейробиологов к пренебрежительному отношению к фМРТ: они даже называют ее «кляксологией» и сравнивают с френологией — псевдонаукой XIX века, связывавшей умственные функции с формой черепа.

В сухом остатке

Деятельность и устройство живого мозга можно оценить

47 Расшифровка

Современным исследователям под силу «считывать» деятельность мозга, а ее расшифровкой — предсказывать осознанный опыт и умственные состояния человека. Так они формируют картину того, как мозг обрабатывает информацию, что необходимо для создании приборов, облегчающих жизнь парализованным людям, однако на этом пути есть этические ограничения, касающиеся ментального личного пространства.

За последние 15 лет нейробиологические методы типа фМРТ развились до того, что позволяют предсказывать определенные умственные состояния – например, распознавать, что́ человек видит или слышит, исходя из активности его мозга. Совершенствуясь день ото дня, такие методы помогают исследователям лучше понять, как мозг обрабатывает различную информацию, и рано или поздно они позволят разработать интерфейсы «мозг-компьютер», которые вернут парализованным пациентам способность двигаться и разговаривать. В принципе, такие программы откроют дорогу к расшифровке мыслей человека, однако тут же возникнет вопрос о вмешательстве в личное пространство ума.

Взгляд в глаза ума Первые работы 1990-х годов показали, что по активности мозга можно судить о том, на объект какой категории смотрит испытуемый. Это открытие сделали на основании свежего тогда знания, полученного методом фМРТ: мозг содержит отдельные специализированные участки, особо откликающиеся на те или иные разновидности зрительных раздражителей. Веретенообразная область распознавания лиц, к примеру, сильно реагирует на лица (*см. стр. 38*), но слабо – на другие предметы типа зданий или животных, тогда как парагиппокампальная область в основном мощно отзывается на образы с домами или пейзажами.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1959

Дэйвид Хьюбел и Торстен Визель экспериментируют с ориентационной избирательностью зрительной коры кошек

1990-е

Первые фМРТ-работы, в которых исследователи, исходя из активности мозга испытуемого, могут распознать предмет, на который тот смотрит

Располагая информацией об уровнях активности этих участков, исследователи могут с большой точностью сказать в любой момент, на какой из этих двух типов раздражителей человек смотрит. А поскольку веретенообразная и парагиппокампальная области расположены в мозге в нескольких сантиметрах друг от друга, фМРТ достоверно показывает, какая из них активнее, когда испытуемые разглядывают картинки, и эту информацию можно также использовать для точного распознания, на какую категорию предметов человек смотрит.

Кино в уме Примерно пять лет назад японские исследователи добились значительных успехов в расшифровке работы мозга. Они показывали испытуемым последовательности изображений, и при помощи фМРТ фиксировали активность первичной зрительной коры (*см. вставку*). До них расшифровка зрительных переживаний сводилась к повторному просмотру изображений, т. е. испытуемым показывали определенный набор картинок, регистрировали активность зрительной коры, после чего показывали те же картинки по второму разу и далее предсказывали, на какую картинку смотрит испытуемый, исходя из уже имеющихся данных активности мозга. Японцы же регистрировали деятельность зрительной коры в ответ на один

Зондируем почву

В конце 1950-х Дэйвид Хьюбел и Торстен Визель произвели серию экспериментов, в которых проявились свойства нейронов первичной зрительной коры. Ученые ввели электроды в зрительную кору коту и смогли зарегистрировать отклики отдельных нейронов на образы, спроецированные на экран. Оказалось, что есть группы клеток, очень точно настроенных на линии под специфическими углами, а есть и настроенные на линии, расположенные под специфическими углами и одновременно движущиеся в определенном направлении. Также выяснилось, что клетки, настроенные на линии в одной и той же ориентации, образуют вертикальные колонки и что колонки эти организованы систематизированно и упорядоченно: клетки в каждой следующей колонке вдоль поверхности мозга настроены на все больший угол наклона. Исследователи теперь способны расшифровать активность этих клеток и реконструировать неподвижные и движущиеся образы, наблюдаемые человеком.

2008
Юкиясу Камитани с коллегами реконструируют зрительные образы

2011
Джек Гэллэнт с коллегами реконструируют движущиеся образы по активности первичной зрительной коры

2012
Боб Найт с коллегами переводит активность мозга в слова

набор изображений, а потом показывали участникам эксперимента совершенно другие картинки. Затем, расшифровав данные активности мозга, «реконструировали» изображения, на которые смотрели испытуемые.

Несколько лет спустя калифорнийские ученые сделали еще один шаг вперед. Они исследовали активность мозга участников эксперимента при просмотре последовательности видеороликов с «Ю-Тьюб» и сосредоточились не только на первичной зрительной коре, но и на вторичной и третичной. Затем они вновь подвергли участников фМРТ, показав им совершенно другую видеоподборку, расшифровали активность зрительной коры и реконструировали, что именно смотрели участники. Реконструированные движущиеся изображения получились в низком разрешении и скверного качества, однако легко опознавались.

‘Мы открываем окно в кино наших умов’

Джек Гэллэнт, американский нейробиолог (2011)

Прислушаемся В основном эти работы сосредоточены на зрительном восприятии, но исследователи добились кое-каких результатов и в расшифровке активности, связанной с пониманием и производством речи. Наиболее глубокие исследования в этой сфере выполнены погружением электродов в мозг пациентов-эпилептиков перед предстоящей операцией.

В начале 2012 года ученые из Калифорнии применили эту методику для расшифровки мозговой деятельности, обусловленной обработкой услышанных слов. Они дали 15 пациентам прослушать заранее записанные слова, а сами регистрировали активность в верхней височной извилине, задействованной в промежуточных стадиях обработки устной речи. После чего применили расчетную модель и извлекли из профиля активности мозга ключевые особенности произнесенных устно слов, в частности временны́е промежутки и вариации громкости между слогами. Затем они «перевели» эту информацию обратно в звуки и получили грубое эхо слов, которые пациенты услышали изначально.

Через несколько месяцев другая исследовательская группа в Калифорнии, применив ту же методику, зафиксировала и расшифровала активность, связанную с артикуляцией гласных, в отдельных клетках и общностях нейронов лобной и височной долей. Способность расшифровывать эту активность не только помогает исследователям понимать, как мозг производит речь, но и полезна для развития нейрокомпьютерных интерфейсов (*НКИ, см. стр. 192*), облегчающих общение парализованным людям.

Страхи будущего Сканирование мозга применимо к расшифровке многих других умственных состояний. Например, исследователи с его помощью смогли различить настоящие и ложные воспоминания, а также предсказать, какое из двух действий человек предпримет еще до того, как он начал что-либо делать. В будущем с их помощью в принципе можно обнаруживать щекотливую личную информацию – черты личности, потребительские привычки, вероятность грядущих неврологических расстройств или наркотической зависимости.

Кто должен – или может – иметь доступ к такой информации? А если когда-нибудь людей насильно заставят проходить сканирование мозга для выяснения такого рода личной информации? Таковы основные нравственные вопросы, которые необходимо осмыслить и сопоставить с потенциальной пользой этих методов.

В сухом остатке
Активность мозга сообщает о состояниях ума

48 Нейрокомпьютерные интерфейсы

Новейшие технологические прорывы привели к развитию приборов, способных считывать электрическую активность мозга и переводить ее на язык сигналов, управляющих внешними устройствами. Такие интерфейсы «мозг-компьютер» уже есть в широкой продаже в игровой промышленности и могли бы помочь людям с травмами позвоночника управлять протезами или вернуть себе власть над парализованными конечностями.

Всего 15 лет назад сама идея повелевать внешними устройствами при помощи силы мысли казалась чем-то из сферы научной фантастики, но в наши дни это возможно — благодаря нейрокомпьютерным интерфейсам (НКИ). НКИ — приборы, расшифровывающие нейронную деятельность и переводящие ее в сигналы, которые управляют разными устройствами — например, рукой робота. По сути, это установление проводной связи между мозгом и компьютером — введением электродов в мозг или же безоперационно, посредством электроэнцефалографического шлема: таким образом активность мозга, связанная с планированием произвольных движений, может быть направлена на внешнее устройство.

НКИ созданы на основе позднейших достижений нейробиологии, информатики и микроэлектроники. За последние 30 лет нейробиологи добились очень многого в понимании, как группы нейронов двигательной коры производят движение, — в основном благодаря работам с введением электродов в мозг обезьян. В то же время ученые

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1929
Ханс Бергер разрабатывает ЭЭГ для записи электрической активности мозга

1950-е
Разработка первых ушных имплантатов

2005
Джон Доногью с коллегами демонстрируют работу «БрейнГейта» на парализованном пациенте

разработали микроэлектроды, способные регистрировать активность мозга с большей точностью; совершенствуются и компьютерные алгоритмы, расшифровывающие и передающие сигналы деятельности мозга.

К тому же развитие робототехники привело к созданию изощренных искусственных конечностей с независимо движущимися сегментами, а это – вкупе с НКИ – увеличивает вероятность восстановления двигательных способностей тяжело парализованных пациентов. Меж тем некоторые компании, производящие электронику, уже выпустили дешевые НКИ – приложения к компьютерным играм.

Сила мысли Один НКИ – «БрейнГейт» – недавно опробовали на людях. Этот прибор, разработанный учеными Университета Брауна, состоит из матрицы в 96 кремниевых микроэлектродов, каждый всего 1 мм в длину и тоньше человеческого волоса, прикрепленных к кабелю, соединяющему их с компьютером. В 2005 году 25-летний Мэтью Нэйджел, парализованный на четыре конечности, стал первым пользователем этого прибора. За пять лет до этого Нэйджел пережил нападение, и ножевое ранение, перебившее ему позвоночник, привело к полному параличу всех конечностей. Исследователи имплантировали Нэйджелу электроды в двигательную кору и научили пользоваться этим приспособлением. Всего за несколько минут Нэйджел усвоил, как контролировать движения при помощи курсора на компьютерном экране одной лишь мыслью о желательном движении, что позволило ему писать электронные письма и пользоваться пультом от телевизора. Прибор подсоединили и к роботизированной руке, и Нэйджел смог управлять ею и совершать некоторые простые движения.

> **«Это научная фантастика, воплощенная в жизнь»**
>
> **Мигель Николелис (р. 1961), бразильский нейробиолог, врач**

Сейчас проходят клинические испытания модели «БрейнГейт-2». В исследованиях участвуют 7 полностью парализованных и не способных разговаривать пациентов, но ученые надеются расширить испытания до 15 человек. В 2012 году сообщили, что с помощью этого прибора двое участников эксперимента уже умеют заставлять руку робота совершать сложные трехмерные движения. Одна пациентка, парализованная более 15 лет и живущая с электродами в мозге последние 5 лет, научилась брать рукой робота бутылку с водой и подносить ее ко рту, чтобы пить через соломинку.

2007
«НьюроСкай» выпускает компьютерную игру «Приключения НьюроБоя», управляемую через ЭЭГ-шлем

2010
«Гугер Текнолоджиз» выпускают НКИ на основе ЭЭГ, позволяющий парализованным пациентам печатать

2011
«НьюроСкай» запускает шлем «МайндУэйв» по 100 долларов за штуку

Несмотря на все эти значительные достижения, имеющиеся НКИ все еще очень примитивны, и есть немало затруднений, которые исследователи надеются в ближайшем будущем преодолеть. Во-первых, они ужасно громоздки, поскольку электродные матрицы пристегнуты к компьютеру толстым кабелем, а их имплантация – это риск инфекции. Более того, современные приборы по-прежнему имеют чрезвычайно ограниченную способность передачи постоянного потока сложной нейронной активности, и за ними нужен постоянный профессиональный пригляд.

В грядущем электродные матрицы будут изготавливать из биологически совместимых материалов, которые можно оставлять в организме гораздо дольше, и разработают алгоритмы, способные передавать больше данных нервной активности от большего числа нейронов. НКИ смогут передавать множественные электрические сигналы беспроводным способом, а протезы конечностей можно будет оборудовать датчиками, снабжающими пользователя сенсорным откликом. Пользователи таких протезов будут ощущать их практически частью своего тела и получат возможность точнее ими управлять.

Кохлеарный имплантат

Кохлеарные («улитковые») имплантаты — электрические приборы, хирургически вживляемые во внутреннее ухо для улучшения слуха полностью или частично глухих людей. Они состоят из внешнего и внутреннего компонентов. Внешний размещается за ухом, в нем есть микрофон, улавливающий звуки окружающей среды, процессор, выбирающий звуки речи из общего потока сигналов, передатчик и приемник/стимулятор, на который звуки поступают из микрофона и конвертируются в электрические импульсы. Внутренний компонент — электродная матрица, вживленная в улитку, она принимает импульсы от передатчика и передает их слуховому нерву.

Кохлеарные имплантаты не восстанавливают нормальный слух, но дают людям возможность слышать и понимать звуки речи. Они отличаются от слуховых аппаратов, просто усиливающих любые звуки окружающей среды.

Кохлеарные имплантаты — одни из первых нейропротезов, их разработали в 1950-х годах, и с тех пор около 220 000 человек стали их пользователями.

Ухо с кохлеарным имплантатом

Коммерческие НКИ Несколько компаний, производящих электронику, уже предлагают дешевые, не требующие имплантации НКИ, применяющие для записи ритмов мозга ЭЭГ-шлемы. Первый коммерческий продукт запустила калифорнийская компания «НьюроСкай» в 2007 году. Прибор продавали вместе с игрой «Приключения НьюроБоя», и некоторыми элементами в ней можно управлять через шлем. Позднее «НьюроСкай» вступила в партнерство с производителем игрушек «Мэттел», и вместе они создали самый продаваемый на сегодня НКИ — игру под названием «Майндфлекс», в которой, по заявлению авторов, шарик по полосе препятствий можно вести силой волновой активности мозга.

У некоторых приложений коммерческих НКИ есть практическое применение. Недавно австрийская компания «Гугер Текнолоджиз» выпустила систему, позволяющую парализованным людям печатать, выбирая по одной букве из таблицы. Есть и более потешные примеры. Японская компания «Ньюроуэр» запустила целую линейку модных аксессуаров, управляемых силой волновой активности мозга, включая пушистые кошачьи ушки, которые топорщатся, когда их носитель сосредоточен, и клонятся вперед, когда расслаблен. Художники применяют НКИ на основе ЭЭГ, превращающие ритмы мозга зрителя в движущиеся зрительные образы, для создания интерактивных инсталляций, а музыканты с помощью этих приспособлений преобразуют ритмы мозга в звуки.

Такие коммерческие продукты становятся со временем все доступнее — цена на технику неуклонно падает. Развитие электроники и сокращение стоимости производства — несомненное подспорье разработкам НКИ.

В сухом остатке
Машины преобразуют мысли в действия

49 Нейробиология и закон

Нейробиология начинает оказывать фундаментальное влияние на юридическую систему. Данные томографии мозга все больше принимаются к рассмотрению судами в качестве поддержки заявлений о смягчении ответственности, для различения правды и лжи в показаниях, а исследования памяти показывают, что свидетельские показания могут быть до крайности ненадежны. Такое развитие событий ставит под серьезный вопрос процедуры осуждения и наказания преступников.

Задача закона – разобраться, кто прав, а кто виноват, и наказать признанных виновными, повлияв на их поведение. Мозг контролирует любые варианты нашего поведения, и потому развитие нейробиологии соотносится с юриспруденцией.

Разумеется, исследования мозга уже влияют на судебные разбирательства – аж тремя способами. Во-первых, встает вопрос о свободе воли и уголовной ответственности; во-вторых, маячит возможность применять нейротехнологии для различения виновных и невиновных; в-третьих, ставит под сомнение неопровержимость свидетельских показаний.

Всегда ли мы ответственны? Система правосудия делает большой упор на понятие ответственности. Люди, вольные действовать, отвечают за свои поступки.

Нейробиология начинает менять наше представление о свободе воли, и возникает все больше случаев, связанных с доказательствами аномалий мозга, на основании которых виновность подзащитных требует пересмотра.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1932
Издание «Воспоминания», классического труда Фредерика Бартлетта о природе памяти

1974
Элизабет Лофтас публикует свою работу, посвященную наводящим вопросам

1992
Приговор за убийство Херберту Вайнстайну смягчают на основании данных сканирования мозга

Первый прецедент возник в начале 1990-х годов в деле 65-летнего директора по рекламе Херберта Вайнстайна, которому было предъявлено обвинение в удушении собственной жены. Адвокат Вайнстайна настаивал, что с его подзащитного необходимо снять ответственность за его действия, потому что киста мозга ухудшила его умственные способности. С учетом этого фактора Вайнстайна осудили за непреднамеренное убийство, а не за умышленное.

Другой пример — дело 2000 года одного американца, внезапно начавшего проявлять педофильские наклонности. Этот человек, в те времена разменявший пятый десяток, работая учителем в школе, начал ходить к проституткам и коллекционировать детскую порнографию, а в конце концов принялся исподтишка заигрывать со своей 12-летней падчерицей. Об этом узнала жена, его арестовали и судили за растление малолетних.

Наводящие вопросы

В 1970-х годах психолог Элизабет Лофтас произвела ряд простых экспериментов, убедительно продемонстрировавших, как наводящие опросы могут влиять на память о реальных событиях. Она показывала участникам эксперимента видеоматериалы автокатастрофы, делила испытуемых на группы и потом задавала каждой группе по отдельности вопросы о том, что они увидели. Одну группу спросили: «Как быстро ехали автомобили, когда столкнулись друг с другом?», а другую: «Как быстро ехали автомобили, когда врезались друг в друга?» Эта тонкая разница в формулировках повлияла на ответы участников: первая группа систематически давала оценки скорости ниже, чем вторая, что имеет очевидные последствия для того, как именно допрашивать подозреваемых и устраивать перекрестные опросы свидетелей в суде.

Ожидая приговора, осужденный жаловался на усиливающиеся головные боли, которые стали настолько невыносимы, что его пришлось увезти в больницу на «скорой» за ночь до вынесения приговора. МРТ показала, что у него в правой части орбитофронтальной коры — опухоль размером с яйцо, как раз на том участке, в котором осуществляется принятие решений и регулируется поведение в обществе.

Нейрохирурги извлекли опухоль, и неприличное поведение у мужчины как рукой сняло. Примерно через год после операции его педофильские пристрастия проявились вновь, и он опять взялся втихаря посматривать детскую порнографию. МРТ показала, что опухоль повторно возникла

2007

Фонд Макартура объявляет финансирование проекта «Закон и нейробиология» стоимостью 10 млн долларов

2008

Судья в Индии приговаривает убийцу на основании данных сканирования его мозга

на том же месте — в первой операции ее явно удалили не всю. Хирурги вырезали ее еще раз, и поведение мужчины окончательно нормализовалось.

Определение врак и знания вины За последние десять лет возрос исследовательский интерес к механизмам обмана, и по меньшей мере две американские компании предлагают услуги фМРТ для определения лжи в судебных процессах. Однако большинство нейробиологов сходятся во мнении, что наше знание о мозге по-прежнему недостаточно, чтобы отличать ложь от правды на основании активности мозга, и все соглашаются, что определение вранья при помощи МРТ не достовернее полиграфа — традиционного детектора лжи.

Сюда же относится и так называемый тест на «знание вины», который, по мнению некоторых ученых, можно использовать, чтобы проверить, не скрывает ли подозреваемый информации о преступлении. В этом тесте подозреваемому показывают детали сцены преступления и параллельно измеряют электрическую активность мозга при помощи ЭЭГ. Электроды способны засекать специфические пики электрической активности мозга под названием «Р300»*, возникающие откликом на значимые раздражители.

* *P* — от англ. *positive*; пик электрической активности мозга примерно через 300 миллисекунд после предъявления стимула. — *Прим. науч. ред.*

Применяя тест на «знание вины», можно успешно различать «виновных» и «невиновных» участников экспериментальных эмуляций преступлений. Реальность гораздо сложнее тщательно выстроенных в лаборатории ситуаций, в которой проверяли действенность теста, а предметы, примененные в эксперименте, могут быть значимы для подозреваемого по другим причинам и вызывать появление сигнала Р300 и в тех случаях, когда подозреваемый в преступлении не участвовал. Более того, виновные подозреваемые способны применять различные контрмеры — контролировать свои реакции на знакомые раздражители. Тем не менее Индия в 2008 году создала прецедент, став первой страной в мире, где человека осудили за убийство на основании результатов этого теста.

‘Наше прибывающее знание о мозге ставит под большое сомнение представления о воле, ответственности и, в конце концов, саму систему правосудия’

Роберт Морис Саполски (р. 1957), американский нейроэндокринолог, биолог, преподаватель

Клянетесь ли вы говорить правду? Система правосудия главным образом основывается на показаниях свидетелей, которых обычно просят опознать нарушителя закона и предоставить информацию о происшествии. Однако хорошо известно, что

наши воспоминания не так уж и надежны, как нам бы хотелось думать, и у этого есть серьезные последствия для применения свидетельских показаний в суде.

В 1920-х годах психолог Фредерик Бартлетт произвел серию классических экспериментов, показавших, насколько ненадежны бывают наши воспоминания. Бартлетт написал несколько рассказов, попросил участников их прочитать, а затем, погодя, предложил вспомнить как можно больше подробностей прочитанного. Он обнаружил, что людям невероятно трудно вспомнить содержание текста точно, даже если он был прочитан несколько раз.

Бартлетт пришел к выводу, что память по своей природе восстановительна, а не воспроизводительна. Наши воспоминания событий окрашены нашими же предубеждениями и ожиданиями, а потому в память закрадываются ошибки. Мы не помним события такими, какими они случились, — они слегка искажены, чтобы вписываться в наше существующее знание о мире. Другие исследователи позднее подтвердили открытия Бартлетта. Его работу развили: доказали, что на воспоминания легко влиять — и нечаянно, и нарочно — и можно заставить человека поверить, что полностью ложные воспоминания истинны (*см. стр. 97*).

В сухом остатке

Исследования мозга могут изменить систему правосудия — к добру или к худу

50 Нейроэтика

Современная нейробиология меняет наше восприятие самих себя, а расширение доступных нам знаний и методов открывает новые возможности для вмешательства в деятельность мозга и управления нашим поведением. Все это вызывает массу этических вопросов, и нейробиологи вынуждены разбираться с ними и объяснять широкой публике свою работу.

Исследования мозга развиваются с беспрецедентной скоростью, и с ростом понимания, как работает наш мозг, прибавляется и способность им управлять. Мозг делает нас теми, кто мы есть, и хотя наше постижение его деятельности все еще в лучшем случае зачаточное, прогресс нейробиологии уже начал заново определять наше восприятие «себя» и место личности в обществе. Нейроэтика — сравнительно новая междисциплинарная область, в которой обсуждаются разнообразнейшие вопросы, возникшие вместе с современными исследованиями мозга.

Кое-какие темы, с которыми имеет дело нейроэтика, — применение психохирургии для лечения умственно нездоровых людей, к примеру, или использование биологических проб, полученных у подопытных людей без их разрешения, — не новы. Но другие возникли за последние несколько лет — например, применение стимуляторов умственной деятельности или расшифровки умственных состояний сканированием мозга. Есть и вопросы, которые, скорее всего, не станут насущными еще долго, однако их уже горячо обсуждают, — например, возможность разработки препаратов, способных стирать память, или способность предсказывать преступление до того, как оно случилось. Рассмотрим лишь некоторые новейшие нейроэтические проблемы.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1949
Антониу Эгаш Мониш получает Нобелевскую премию за изобретение лоботомии

1993
ЮНЕСКО учреждает Международную комиссию по биоэтике

2003
Нейробиологическое общество учреждает ежегодный лекторий по нейроэтике

Личное пространство ума Ваши мысли принадлежат только вам и обитают в закрытом пространстве вашего умственного мира, куда никто, кроме вас, не допущен. Но надолго ли это? Нейротехнологии типа фМРТ уже достигли точки в развитии, откуда можно заглянуть в мозг, расшифровать его деятельность и узнать, на что человек смотрит и что чувствует, и поэтому встает вопрос конфиденциальности личного пространства ума. Область особого беспокойства — государственная безопасность: правительственные органы все активнее финансируют эти исследования, надеясь обнаружить поведенческие закономерности мозговой деятельности и тем самым выявлять террористов.

Останется ли доступ к вашим мыслям исключительно вашим или нейробиология рано или поздно сможет узнать, что у вас на уме? Хотя методики сканирования мозга усложняются с каждым днем, многие результаты их применения преувеличены и безосновательны. Да, нейробиологи могут расшифровывать кое-какую активность мозга и определять незатейливые переживания, однако маловероятно, что когда-нибудь удастся точно выведать, о чем вы думаете, так что с хорошей точностью ваши мысли еще очень надолго останутся вашей частной собственностью.

Психохирургия: прежде и ныне

Лоботомия — хирургическая операция, при которой перерезают связи между лобной корой и структурами, расположенными под ней. Впервые ее осуществил в 1930-х годах португальский нейробиолог Антониу Эгаш Мониш, а в 1940-х развил и принес в Америку Уолтер Фримен. Лоботомия — очень грубая процедура с неоднозначными результатами. Однако поначалу ее воспевали как чудодейственное средство от умственных расстройств. На пике славы в 1940–1950-х годах лоботомии подвергли десятки тысяч людей в США и Европе, после чего ее вытеснили антипсихотические препараты. Лоботомию более не выполняют, однако несколько лет назад выяснилось, что китайские врачи до сих пор применяют хирургию мозга для лечения умственнобольных пациентов. Так же они лечат наркоманов и алкоголиков — хирургически удаляют прилежащее ядро, или «центр удовольствия». Эти приемы считаются в высшей степени неэтичными, поскольку нейрохирургия необратима, а дают ли пациенты осознанное согласие на нее, неизвестно.

2006
Учреждение Международного общества нейроэтики

2007
«Уолл-стрит джорнел» обнародует сведения о психохирургической «эпидемии» в Китае

2009
Эдриэн Рэйн с коллегами обнаруживают, что недостаточное воспитание рефлекса страха в 3-летнем возрасте через 20 лет приводит к преступному поведению

Мозг — магический кристалл? Нейробиологи применяют фМРТ для довольно точного предсказания некоторых простых аспектов поведения, а отдельные исследователи уже заявляют, что могут определять детей, которые впоследствии станут наркоманами, преступниками или психопатами, на основании активности их мозга. К примеру, ученые из университета Пенсильвании произвели сканирование мозга 41 осужденного за убийство, отрицавшего свою вину на основании невменяемости. Обнаружилось, что у тех, кто действовал, повинуясь порыву, в отличие от тех, кто планировал преступление, оказался пониженный уровень метаболизма глюкозы в префронтальной коре. Исследователи далее выяснили, что миндалевидное тело (амигдала) у психопатов в среднем на 18% меньше, чем у остальных, и что скверная выработка рефлекса страха в детстве через 20 лет приводит к уголовному поведению.

> **«Нейроэтика — это проверка на правду и ложь, добро и зло в лечении, улучшении, нежелательных вмешательствах и тревожащих нас влияниях на человеческий мозг»**
>
> **Уильям Сэфайр (1929–2009), американский журналист, лексикограф**

Настанут ли времена, когда людей будут насильно подвергать исследованию мозга, чтобы выявить склонности к поведению, которое еще не проявилось? Как бы вам понравилось, если бы вам сообщили, что ваш пятилетний сын, скорее всего, станет алкоголиком или преступником и что его надо немедленно лечить, чтобы минимизировать вероятность такого исхода? А если вдруг станут возможными точные прогнозы, кто получит доступ к такой информации? Предсказания будущих закономерностей поведения основываются на статистическом анализе, показывающем некоторые рисунки мозговой деятельности, связанные с определенным поведением у большой группы людей, однако они гораздо менее точны применительно к отдельно взятому человеку – из-за вариаций устройства мозга и его деятельности у разных людей. Тем не менее такого рода исследованиями могут легко злоупотребить всякие не в меру ретивые политики, и потому осмысление этой темы – и в особенности ее слабых мест – совершенно необходимо.

Острые вопросы Таковы лишь некоторые проблемы, возникшие за последние годы. Нейроэтика имеет дело и с другими, в том числе:

- Можно ли предлагать пациентам с болезнью Паркинсона лечение на основе дофамина, если у такого лечения могут быть побочные эффекты – навязчивая тяга к азартным играм, например?
- Можно ли преподавателям и студентам применять препараты-стимуляторы для достижения бóльших академических успехов?

- Можно ли применять стимуляцию мозга для улучшения умственной деятельности здоровых людей?
- Что должны делать ученые, если заметили признаки повреждения при изучении мозга добровольца, согласившегося на экспериментальное исследование?
- Освобождает ли повреждение мозга от ответственности за поступки, и если да, то каковы последствия для системы правосудия?
- Можно ли предлагать ампутацию людям, страдающим соматопарафренией (*см. стр. 57*)?

Это все прочтут Из-за перечисленных причин нейробиология все больше становится частью повседневности, и интерес широкой общественности к этой науке растет пропорционально. При этом СМИ кишат бестолковыми сообщениями. Многие нейробиологи считают, что на них лежит профессиональная обязанность обращаться к публике и объяснять ей возможные общественные последствия исследований, равно как и имеющиеся ограничения.

«...Что может быть ужаснее человеческих попыток подражать несравненным творениям создателя»*

Мэри Шелли (1797–1851), английская писательница

* Из авторского предисловия к роману «Франкенштейн, или Современный Прометей» (1831), пер. З. Александровой.

В сухом остатке
Исследования мозга ставят перед обществом серьезные вопросы

Словарь терминов

Автономная нервная система Часть нервной системы; контролирует непроизвольную деятельность, в частности дыхание и сердцебиение.

Аксон Одиночное нервное волокно, выступающее из тела нейрона, передает импульсы другим клеткам.

Амигдала Маленькая миндалевидная структура в средней височной доле, связана с выработкой эмоций, в частности страха.

Амнезия Неспособность вспомнить прошедшие события или сформировать новые воспоминания.

Астроцит Глиальная клетка в форме звездочки; обеспечивает питание нейронов и участвует в обработке информации.

Афазия Ухудшение способности производить или понимать речь, часто возникает в результате повреждения мозга из-за инсульта.

Базальные ганглии Обширная совокупность подкорковых структур, связанных с произвольными движениями и эмоциями.

Белое вещество Нервная ткань, содержащая пучки нервных волокон.

Борозда Углубление между любыми двумя извилинами коры головного мозга.

Височная доля Область в боковой части мозга, содержит участки, отвечающие за речь и память.

Ганглий Узел нервных клеток, выполняющих одну и ту же или сходные функции.

Гиппокамп Часть средней височной доли, связанная с процессами памяти и пространственной навигации.

Глия Один из двух классов клеток в нервной системе. Есть несколько разных видов глии, каждая имеет свои особые функции.

Двигательный нейрон Нервная клетка в головном или спинном мозге, занятая планированием или выполнением произвольного движения.

Дендриты Ветвистые волокна, несущие электрические сигналы к телу клетки нейрона.

Долговременная память Память, хранящаяся днями, месяцами или годами.

Долговременная потенциация Процесс, в котором усиливаются связи между нейронами.

Затылочная доля Область в задней части мозга; содержит множество участков, отвечающих за обработку зрительной информации.

Извилина Выпуклость коры головного мозга.

Конус роста Окончание растущего нервного волокна, улавливающее внешние навигационные сигналы.

Кора головного мозга Тонкая складчатая структура на внешней поверхности мозга; отвечает за высшую мыслительную деятельность.

Критический период Ограниченный период развития мозга, во время которого тот крайне чувствителен к переживаниям и чувственной стимуляции.

Лобная доля Область в передней части мозга, занятая движениями и сложными умственными функциями, в том числе планированием и принятием решений.

Миелин Жировая ткань, изолирующая нервные волокна и улучшающая проводимость нервных импульсов.

Микроглия Клетки иммунной системы мозга, устраняют клеточные отходы, поглощают микробы.

Мозжечок «Маленький мозг»; контролирует равновесие и координацию движений, участвует в мыслительных процессах и эмоциональных откликах.

Мозолистое тело Массивный пучок нервных волокон, соединяющий левое и правое полушария.

Нейромедиатор Вещество, при помощи которого нейроны общаются между собой.

Нейромышечное соединение Место стыковки терминали нерва двигательного нейрона спинного мозга и мышечной клетки.

Нейрон Клетка одного из двух классов клеток, составляющих нервную систему; существуют сотни тысяч разновидностей нейронов.

Нейропередача (нейротрансмиссия) Процесс химического сообщения между нейронами.

Нерв Пучок аксонов периферической нервной системы.

Олигодендроцит Тип глиальной клетки центральной нервной системы, производит миелин.

Перехват Ранвье Щель в миелиновой оболочке, в которой генерируются нервные импульсы.

Периферическая нервная система Компонент нервной системы, располагается вне головного и спинного мозга.

Потенциал действия Электрический сигнал; перемещается по нервным волокнам и несет информацию.

Рецептор Белок, расположенный в мембране нервной клетки, связывается с молекулами нейромедиатора.

Серое вещество Нервная ткань, содержащая тела клеток нейронов.

Сильвиева щель Глубокая расселина между лобной и височной долями мозга.

Синапс Соединение двух нейронов, в котором происходит нейропередача (нейротрансмиссия).

Синаптический пузырек Крошечная сферическая структура, расположена на терминали нерва, содержит молекулы нейромедиатора.

Соматосенсорная кора Часть теменной доли, принимает осязательную информацию и содержит упорядоченную карту тела.

Соматотопия Упорядоченное представление поверхности кожи в соматосенсорной коре.

Спинной мозг Пучок нервных волокон, передающий сигналы между мозгом и телом.

Ствол мозга Средний мозг, варолиев мост и продолговатый мозг, соединяющие спинной мозг с корой головного.

Стволовые клетки мозга Недифференцированные клетки, имеющиеся в эмбрионе; способны производить клетки нервной системы любой разновидности.

Теменная доля Область мозга, расположенная после лобной доли, объединяет информацию, полученную от разных органов чувств.

Улитка Часть внутреннего уха, содержащая волосатые клетки, улавливающие движения воздуха, создаваемые звуковыми волнами.

Центральная нервная система (ЦНС) Головной и спинной мозг.

Черное вещество Часть среднего мозга, содержащая нейроны, синтезирующие нейромедиатор дофамин.

Шванновская клетка Разновидность глиальных клеток, обнаруженных в периферической нервной системе; производит миелин.

Щелевой контакт Электрический синапс, позволяющий прямую передачу электрического сигнала между нейронами.

Щель Глубокая расселина, отделяющая области мозга друг от друга.

Экзоцитоз Процесс выброса нейромедиаторов в синапсах.

Предметный указатель

ББК 84.4
К72

Нейробиолог Мохеб Костанди — активный популяризатор науки, он сотрудничает с самыми авторитетными изданиями, такими как *Nature*, *New Scientist*, *Science*, *Scientific American*. Его научный блог «Нейрофилософия», который он ведет на портале газеты *Guardian*, читают сотни тысяч людей по всему миру.

Костанди, Мохеб
К72 Мозг человека. 50 идей, о которых нужно знать. — Пер. с англ. Ш. Мартыновой. — М.: Фантом Пресс, 2015. — 208 с.

Эта книга — квинтэссенция из столетних размышлений о мозге. В нее вошли все важнейшие представления нейробиологии. Здесь вы найдете как давно существующие концепции, но рассмотренные в свете последних научных данных, так и новейшие теории о человеческом мозге, возникшие недавно. Книга проливает свет на устройство и работу самого плохо изученного органа человека. Рассмотрены в книге и этические вопросы, связанные с мозгом и разумом. Некоторые верят, что лучшее понимание работы мозга даст нам ответы на главные вопросы жизни. Но наука о мозге не объясняет, что значит — быть человеком. Но она помогает понять, как мы функционируем, дает возможность излечить многочисленные тяжелые расстройства — вредные привычки, болезнь Альцгеймера, инсульты и параличи. «Мозг человека» поможет вам разобраться в том, что творится у вас в голове.

ISBN 978-5-86471-697-7

Мохеб Костанди
МОЗГ ЧЕЛОВЕКА
50 идей,
о которых нужно знать

Перевод
Шаши Мартынова
Редактор
М. Немцов
Научный консультант
А. Петрова
Корректоры
Ольга Андрюхина,
Елена Кочугова
Директор издательства
Алла Штейнман
Подписано в печать 26.02.2014.
Формат 70×90/16.
Печать офсетная.
Заказ № 1500640.
Тираж 3500 экз.
Гарнитура «NewBaskervilleC».
Издательство «Фантом Пресс»:
Лицензия на издательскую деятельность
код 221 серия ИД № 00378
от 01.11.99 г.
127015 Москва,
ул. Новодмитровская, д. 5А, 1700
Тел.: (495) 787-34-63
Электронная почта:
phantom@phantom-press.ru
Сайт: www.phantom-press.ru

ЯПК arvato
Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного электронного оригинал-макета в ОАО «Ярославский полиграф-комбинат»
150049, Ярославль,
ул. Свободы, 97